

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 1984



306 AH Z
306



VERLAG ERICH GOLTZE GMBH & CO. KG · GÖTTINGEN

1984

UB Braunschweig 84

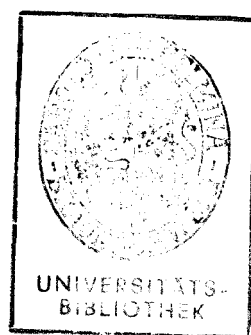


2641-342-2

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 1984

Herausgegeben von
Hans-Joachim Kanold



VERLAG ERICH GOLTZE GMBH & CO. KG · GÖTTINGEN

1984

Das vorliegende Jahrbuch ist beim Verlag und beim Buchhandel erhältlich.
Preis DM 20,–

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln
des Landes Niedersachsen

BWG 3300 Braunschweig
Fallersleber-Tor-Wall 16, Postfach 3329, Telefon (05 31) 3 91 – 45 96

ISBN 3-88452-230-2

Alle Rechte vorbehalten von
Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen
1984

Gesamtherstellung: Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen
Printed in the Federal Republic of Germany

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)	7
Satzung der BWG	9
Plenarversammlungen	13
Klassensitzungen	41
Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte	49
Öffentliche Veranstaltungen	53
Feierliche Jahresversammlung 1984	85
Veröffentlichungen	113
Geschäftliche Mitteilungen	113
Nachrufe	115
Personalia	118
Todesfälle	118
Zuwahlen	119
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille	123
Mitgliederverzeichnis	127

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolus Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“, die – nachdem die vorgelegte Satzung von dem damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung genehmigt worden war – am 9. Dezember 1943 mit einer feierlichen Sitzung eröffnet wurde. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die zu dieser Gründung führenden Motive. Maßgebend war bei ihnen der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird auch in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie, „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als eine selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt, jedoch war der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was aber wohl hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft sodann durch die Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut, sie konnte in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges besondere Aktivitäten nicht mehr entfalten. Sie bestand indessen auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort, jedoch wurden alsbald auch Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei von vornherein die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde, die im Kern durch Selbstergänzung, begrenzte Platzzahl und Gliederung in Fachbereiche ja bereits vorhanden war.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt, und 1949 erschien der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Und im gleichen Jahre wurde von ihr erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille verliehen. 1953 wurde der Gesellschaft schließlich der Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts verliehen und ihr mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich noch Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. Erst 1971 erhielt die Gesellschaft ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwer-

punkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt, und eine Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte hat eine auf Dauer angelegte Forschungstätigkeit aufgenommen. Bisher sind 36 Bände der „Abhandlungen“ sowie als Vorläufer dieses Jahrbuches 15 Hefte und 6 Sonderhefte der „Sitzungsberichte und Mitteilungen“ publiziert worden. Die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille wurde bisher 38 mal an hervorragende Gelehrte des In- und Auslandes verliehen.

Satzung

§ 1

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

§ 2

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

§ 3

Die Gesellschaft hat vier Klassen:

- die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
- die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- die Klasse für Bauwissenschaften,
- die Klasse für Geisteswissenschaften.

§ 4

- (1) Die Gesellschaft besteht aus Ordentlichen und Korrespondierenden Mitgliedern.
- (2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der Ordentlichen Mitglieder beträgt:

- 30 für die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
- 30 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- 30 für die Klasse für Bauwissenschaften,
- 20 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

Hierin werden die Ordentlichen Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, nicht eingerechnet.

- (3) Zu Korrespondierenden Mitgliedern können, ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz, verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der Korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines Korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von Ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muß angenommen werden, daß sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer Klasse kann durch den Verwaltungsausschuß die Mitgliedschaft in die eines Korrespondierenden Mitgliedes umgewandelt werden.

§ 5

- (1) Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei Ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.
- (2) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten verzichtet werden.
- (3) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

§ 6

- (1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die Ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste, die von einem Ordentlichen Mitglied eingeführt sind, einladen.
- (2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die Korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

§ 7

Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft öffentliche Vorträge.

§ 8

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

§ 9

Die Gesellschaft verleiht in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gauß-Medaille.

§ 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten. Er beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Klassenvorsitzenden.

(2) Der Präsident wird aus dem Kreis der Ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig.

(3) Die Stellvertretung des Präsidenten übernimmt als Vizepräsident der turnusmäßige älteste Klassenvorsitzende.

§ 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegen den Klassenvorsitzenden; § 19 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die Ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung den Klassenvorsitzenden so, daß jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig.

(3) Die Klassenvorsitzenden betrauen mit ihrer Vertretung von Fall zu Fall ein Ordentliches Mitglied der Klasse.

§ 12

(1) Dem Generalsekretär obliegen die Geschäftsführung, die Veranstaltung öffentlicher Vorträge und die Herausgabe der Abhandlungen der Gesellschaft.

(2) Der Generalsekretär muß seinen Wohnsitz in Braunschweig oder im näheren Umkreis von Braunschweig haben. Er wird aus dem Kreis der Ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig. In dem Jahr, in dem der Präsident neu gewählt wird, soll ein Wechsel im Amt des Generalsekretärs nicht stattfinden.

§ 13

Der Präsident, die Klassenvorsitzenden und der Generalsekretär bilden den Verwaltungsausschuß. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlußfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident kann zu Beratungen des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt, hinzuziehen.

§ 14

- (1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.
- (2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.
- (3) Die Jahresrechnung und die ordnungsgemäße Verwendung der Mittel durch die Gesellschaft unterliegen der Prüfung durch den Landesrechnungshof oder das von ihm beauftragte Rechnungsamt. Alsdann hat das Plenum über die Entlastung des Verwaltungsausschusses zu beschließen.

§ 15

Das Plenum beschließt ferner über die Geschäftsordnung, Druckschriftenordnung, Bestimmungen über die Verleihung der Gauß-Medaille und über Änderungen dieser Satzung.

§ 16

- (1) Zu Wahlen und Beschlußfassungen gem. § 14 Abs. 1 und 3 und § 15 muß mindestens die Hälfte der Anzahl der Ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.
- (2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmenmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die absolute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmgleichheit entscheidet das Los.
- (3) Bei den übrigen Beschlußfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.
- (4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes Ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

§ 17

- (1) Die Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs bedarf der Bestätigung durch die Landesregierung.
- (2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die Landesregierung.
- (3) Das Ergebnis der Wahlen der Ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluß eines Mitgliedes und der Verzicht eines Mitgliedes auf die Mitgliedschaft sind der Landesregierung anzuzeigen.

Plenarversammlungen

13. 1. 1984 in Braunschweig
Joachim Ehlers: „Die Anfänge der französischen Geschichte“
10. 2. 1984 in Braunschweig
Karl Heinrich Olsen: „Das Dritte Rom“
16. 3. 1984 in Hannover
Rolf Kracke: „Wie schnell kann und soll die Eisenbahn fahren?“
6. 4. 1984 in Braunschweig
Peter Wincierz: „Anisotrope Werkstoffeigenschaften verschiedener Nichteisen-Metalle“
11. 5. 1984 Feierliche Jahresversammlung in Braunschweig
23. 6. 1984 in Clausthal
Paul Funke: „Technologietransfer als Herausforderung“
13. 7. 1984 in Braunschweig
Hans-Joachim Kanold: „Über einige Ergebnisse in der kombinatorischen Zahlentheorie“
19. 10. 1984 in Braunschweig
Martin Gosebruch: „Das Kunstreich Bischof Bernwards von Hildesheim“
9. 11. 1984 in Braunschweig
Martin Kersten: „100 Jahre Magnetismus in der Elektrotechnik“
14. 12. 1984 in Braunschweig
Hauptsitzung

Die Anfänge der französischen Geschichte

– Zusammenfassung –

Von **Joachim Ehlers**, Braunschweig

Für eine Periodisierung, die zwischen eigenständig französischer Geschichte und deren westfränkischer Vorstufe klar erkennbare Unterschiede sucht, ist die politisch-verfassungsgeschichtliche Entwicklung maßgebliches Kriterium.

Der Reichseinheitsgedanke trat seit dem Vertrag von Verdun (843) immer mehr in den Hintergrund, und nach einer Phase der Unsicherheit zeigte die Anerkennung Odos als des ersten nichtkarolingischen Königs im Westreich durch den ostfränkischen Karolinger Arnulf eine weit vorgeschrittene Verselbständigung der Teilreiche. Dieser Sonderungsprozeß wurde durch pragmatisches Handeln der Regierenden beschleunigt, die je besondere Ausprägung der *regna* förderte.

888 wurde die Abkehr von der karolingischen Dynastie erstmals vollzogen, nachdem transpersonales Denken den Weg dafür vorbereitet hatte. Diese Entscheidung ist wegen ihrer grundsätzlichen Tragweite von größerer Bedeutung als der vielberufene „Dynastiewechsel“ von 987 und wurde nicht nur von einer Adelsgruppe aus der Francia getroffen, sondern in Neustrien, Burgund und Aquitanien geteilt.

Während der Regierungszeit Karls III. (893–929) wurden die wesentlichen Momente der politischen Realität in einem Herrschaftsprogramm zusammengefaßt und gewannen damit eine neue historische Qualität:

Mit der Regionalisierung der Königsherrschaft kamen die endgültige Absage an Gesamtreichskonzeptionen und die Verankerung dieses Prinzips im seither unveränderten Königstitel; damit einher gingen die Abgrenzung gegenüber dem deutschen Königtum, das als solches im Bonner Vertrag anerkannt wurde, sowie die Institutionalisierung eines für die französische Geschichte charakteristischen Nebeneinanders von Königtum und Fürstentum.

Emotionales Fundament für dieses Programm war das beim Adel seit langem gewachsene Eigenbewußtsein, das mit der Francia als dem seit Karl III. definierten Raum der Königsherrschaft korrespondierte.

Die mit der Salbung Karls des Kahlen zum König von Aquitanien 848 eingeleitete sakrale Legitimierung des Königtums wurde konsequent gesteigert und bis zur Jahrhundertwende mit äußeren Formen, theoretischen Begründungen und rechtlicher Systematisierung zur einzigartigen, die französische von allen anderen europäischen Monarchien unterscheidenden „*religion royale*“ ausgebildet.

Die typischen Merkmale der französischen Monarchie des Mittelalters – politisches Autonomiebewußtsein, transpersonales Staatsdenken, der Königstitel, die Königstheorie, ausgeprägtes Eigenbewußtsein – sind in der Regierungszeit Karls III. systematisiert oder zum Abschluß ihrer frühen Stadien gebracht worden.

Auf die Entwicklung des Reiches im 10. Jahrhundert wirkte freilich retardierend und damit das Bild für die spätere Historiographie trübend, daß der Kampf um die Vorherrschaft in den *regna*, besonders um die Francia, noch nicht abgeschlossen war: Mehrere große Adelsfamilien konkurrierten auf regionaler Ebene, zwei von ihnen, Karolinger und Robertiner, auch um das Königstum. Das Jahr 987 brachte mit der Entscheidung zugunsten der Robertiner/Kapetinger politische Befriedung, verfassungsgeschichtlich aber nichts Neues: Die französische Geschichte hat in den Jahren 888 bis 922 begonnen.

Sie ist nicht die Geschichte einer räumlich fest umrissenen Größe, sondern ein dialektischer Prozeß, dessen Ziel es war, den Sanktionsbereich des Königs auf seinen Legitimierungsbereich auszudehnen, die fürstlicher Herrschaft entsprechende Kron-domäne mit jenem Gebiet zur Deckung zu bringen, auf das sich der historisch begründete und lehnrechtlich verbürgte Anspruch des Königs von Frankreich erstreckte.

(Die erweiterte Fassung des Vortrages in der HISTORISCHEN ZEITSCHRIFT Bd. 240, 1985, S.1–44.)

Das Dritte Rom

– Kurzfassung –

Von **K. H. Olsen**, Braunschweig

Rom, das nach der endlich geglückten Einigung Italiens am 26.1.1871 zur Hauptstadt des Königreiches erklärt worden war, wurde in dieser Eigenschaft von den Italienern wohl immer als die legitime Nachfolgerin der antiken Kaiserstadt wie auch der päpstlichen Metropole verstanden und dementsprechend auch sogleich als das „Dritte Rom“, die „Terza Roma“ bezeichnet. Außerhalb Italiens stieß die Wahl Roms zur Hauptstadt dagegen auf mancherlei Unverständnis oder gar Ablehnung. Kein Geringerer als Theodor Mommsen, dessen „Römische Geschichte“ so viele und so grundlegende Erkenntnisse über das antike Rom erbracht hatte, bemerkte gegenüber Minister Sella: „Was wollt Ihr in Rom? In Rom bleibt man nicht ohne universale Ziele“, womit er zweifellos an den Weltstadtcharakter Roms als das Resultat imperialer Machtentfaltung erinnern wollte. Ein prophetisches Wort, Mussolini hegte ja solche universalen Ziele und scheiterte nicht zuletzt an diesen. Für die Italiener jener Tage stellten sich aber solche Probleme kaum. Ihnen erschien die Vermählung des tradierten und durch die Historiker fundamentierten Symbolcharakters der Stadt mit ihrer neuen Kapitale durchaus sinnvoll, ja zwangsläufig, und natürlich zweifelten sie wohl auch nicht an der Persistenz der Weltstadteigenschaft Roms.

Der Kirchenstaat als die staatliche Basis seiner Hauptstadt Rom hatte 1870 schlimme Zeiten hinter sich. Die große französische Revolution von 1789 hatte Papst, Kirche und Kirchenstaat wesentlich stärker beeinträchtigt als die übrige europäische Staatenwelt. Die Aufhebung kirchlicher Einrichtungen in Frankreich, die Verfolgung der französischen Geistlichkeit und schließlich die Annexion des kirchenstaatlichen Avignon und Venaissin lösten in Rom nicht nur Abscheu, sondern sogleich auch emotional aufgeheizte Reaktionen aus wie die Ermordung des französischen Geschäftsträgers Basseville, die Einziehung französischen Besitzes und schließlich auch die kirchenstaatliche Teilnahme an antifranzösischen Koalitionen. Die Antwort Frankreichs war eine militärische Intervention, die nach Übernahme des Oberbefehls über die französische Italienarmee durch Napoleon schnell zum Zusammenbruch des päpstlichen Widerstandes, zum ruinösen Frieden von Tolentino (19. 2. 1797), zur Besetzung des Kirchenstaates einschließlich Roms und endlich sogar zur Exilierung Pius VI. führte. Zwar erwies sich die von der französischen Besatzungsmacht erzwungene „Römische Republik“ als recht kurzlebig, aber nach der Rückkehr Napoleons aus Ägypten und seinem Aufstieg zum Kaiser der Franzosen erhielt im Zuge der territorialen Neuordnung Italiens auch Rom eine neue Funktion. Es sollte die zweite Hauptstadt des Kaiserreiches und Prinzenresidenz werden, während der Papst nur noch zeitweise in Rom amtieren und die Kurie ganz nach Paris übersiedeln sollte. Gegen diesen Kaiserlichen

Entscheid nützte auch der von Pius VII. gegen Napoleon geschleuderte Bannfluch nichts. Er brachte dem Papst, wie schon seinem Vorgänger, lediglich die Exilierung ein.

Für die städtebauliche Entwicklung Roms erwies sich das bis 1814 währende französische Interregnum indessen als durchaus förderlich. Entsprechend seinen Plänen stellte der Kaiser sogleich einige Mittel zur Verschönerung der Stadt bereit, die von dem französischen Stadtpräfekten, dem Grafen de Tournon, umgehend in Angriff genommen wurde. Neben Ausgrabung, Restaurierung und Konservierung antiker Monumente auf dem Palatin, dem Forum Romanum, dem Trajansforum und am Kolosseum, verdienen vor allem die Reinigung des Tiberbettes und die teilweise Einfassung des Flusses mit Mauern, sowie die Neugestaltung des Pincio und der Piazza del Popolo besondere Beachtung. Mit der letztgenannten wurde der damals führende Architekt Roms, Guiseppe Valadier, beauftragt, der für den Ausbau der Stadt weitere Pläne erarbeiten sollte. Die von ihm als erstes unverzüglich in Angriff genommene Neugestaltung der Piazza del Popolo konnte er während des napoleonischen Intermezzos allerdings nicht mehr abschließen. Es ist ein bleibendes Verdienst Pius VII., daß er neben anderen, von den Franzosen eingeleiteten Maßnahmen, die Arbeiten an der Piazza fortführen ließ, die durch diese ihre heutige Gestalt erhielt.

An der sich gen Norden in der Aurelianischen Mauer öffnenden antiken Porta Flaminia hatte sich im Zuge des mittelalterlichen Stadtverfalls intramuran eine freie Fläche ausgebildet, die schon in frühen Stadtplänen als Platea oder Forum populi – vielleicht nach einem antiken Pappelgehölz – bezeichnet wird. Bemerkenswert an dieser frühen Piazza del Popolo waren antike Grabstellen an der Mauer, bei denen 1099 unter einem mächtigen Nußbaum das Grab Neros entdeckt wurde. Das Grab des vermeintlich größten und blutigsten Christenverfolgers wurde geöffnet, die in ihm gefun-

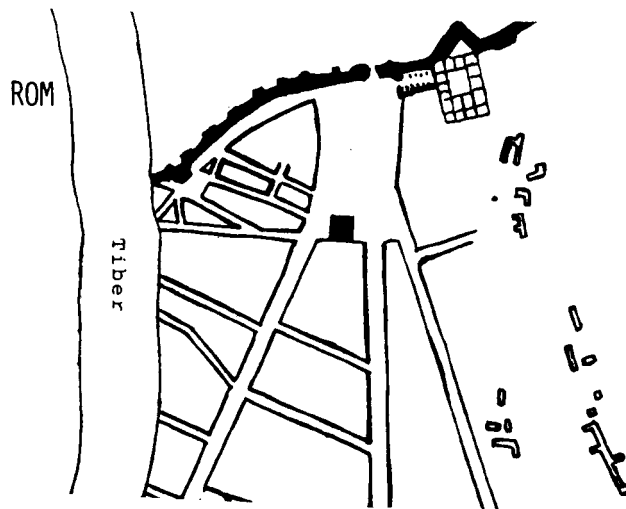


Abb. 1:
Die Piazza del Popolo 1551 (nach Bufalini)

denen Überreste in den Tiber gestreut und die Stätte vom Papst Paschalis II. exorziert, der zugleich den Grundstein zu einer Kirche – wohl mehr einer Kapelle – legte, an deren Stelle 1472/77 unter Sixtus IV. die heute noch existierende S. Maria del Popolo erbaut wurde. Zu dieser Kirche gehörte ein heute nicht mehr vorhandenes Augustiner-Kloster, in dem Martin Luther bei seinem Rom-Aufenthalt 1510/11 gewohnt hat.

In dem ersten wirklichen Stadtplan Roms von Bufalini aus dem Jahre 1551 erscheint del Popolo als ein geräumiger Platz (Abb. 1).

Unmittelbar neben dem Tor, an die Mauer gelehnt, ist S. Maria del Popolo und hinter dieser das Augustinerkloster zu erkennen. Der Platz zeigt im übrigen nur an seiner westlichen Seite und nach Süden hin Bebauung, gegen Osten, also an den Hängen des Pincio, finden sich nur antike Baureste verzeichnet. Die von der Piazza strahlenförmig in die Stadt führenden drei Straßen sind bereits vorhanden, beziehungsweise hinsichtlich der Via del Babuino andeutungsweise zu erkennen, wobei die Via del Corso noch als Via Lata und die Via di Ripetta noch als Via Populi bezeichnet werden. Am Südrand des Platzes ist ein als „Meta“ bezeichneter antiker Baurest – vielleicht ein Grabmonument – vermerkt, der in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts beseitigt worden ist. In dem schon recht genauen Stadtplan aus dem Jahre 1748 von Nolli (Abb. 2) erscheint die Piazza del Popolo bereits als ein künstlerisch sorgfältig gestalteter Platz. Den Eingang der Via del Corso flankieren zwei Barockkirchen aus der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts von Rinaldi, Bernini und Fontana, nämlich S. Maria di Monte Santo und S. Maria de' Miracoli (Abb. 2).

Schon zuvor hatte Sixtus V. (1585 – 1590) in der Platzmitte einen Obelisk aus dem Circus Maximus – er war 10 v. Chr. von Augustus aus Heliopolis in Ägypten nach Rom gebracht worden – aufstellen lassen. Und die Porta del Popolo war von Pius IV. 1561 neu erbaut sowie mit einer äußeren schmückenden Fassade versehen worden, und 1655

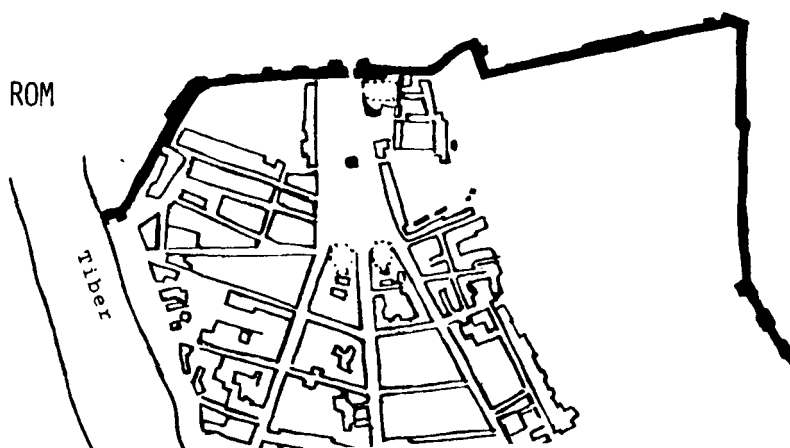


Abb. 2:
Die Piazza del Popolo 1748 (nach Nolli)



Abb. 3

wurde die innere Fassade von Bernini neu gestaltet. Da die meisten Fremden ja von Norden her, also durch die Porta del Popolo, Rom erreichten, war die Piazza del Popolo zu einem wirklichen Empfangssalon der Stadt geworden. Aus der Mitte des 18. Jahrhunderts besitzen wir auch einen besonders bekannten Stich Piranesis von der Piazza del Popolo. Er zeigt recht gut die Gestaltung des Platzes, verschweigt aber auch nicht, daß die Platz- und Straßenverhältnisse nach heutigen Maßstäben doch noch recht primitiv waren (Abb. 3).

Ein Kartenausschnitt aus dem Stadtplan der Census-Direktion von 1829 zeigt sodann die Piazza nach ihrer von Valadier vollzogenen Umgestaltung und damit in ihrer noch heute bestehenden Form (Abb. 4).

Der Platz besitzt nun eine elliptische Umrahmung, deren Brüstung mit Sphinxen bestückt ist. Der Obelisk hat durch Leo XII. (1823–1829) einen mit vier wasserspeien den Löwen geschmückten Unterbau erhalten, außerdem findet sich an den Enden der Ellipse je ein Brunnen. Am Ostrand des Platzes erhebt sich steil, mit einer Schmuckfassade versehen, der Pincio, der über der Piazza eine Aussichtsplattform besitzt, von der aus man einen umfassenden Überblick über den größten Teil der Altstadt gewinnt.

Das für die Fortentwicklung der Stadt Rom relativ positive napoleonische Intermezzo währte indessen nur wenige Jahre, und nach der Wiederherstellung des Kirchenstaates und der absoluten Herrschaft der Päpste durch den Wiener Kongreß breitete sich hinsichtlich Roms alsbald wieder ein städtebauliches Vakuum aus. Zwar gestattete Pius VII., unterstützt durch seinen hervorragenden Kardinalsstaatssekretär Consalvi,

ROM

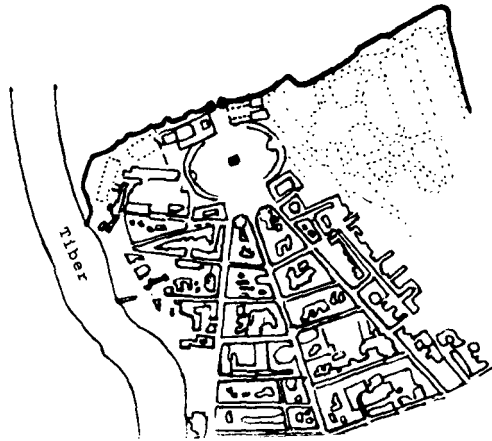


Abb. 4:
Die Piazza del Popolo 1829
(nach Dir. Gen. D. Censo)

die Fortsetzung einiger der unter französischer Herrschaft eingeleiteten Aktivitäten, seine Nachfolger auf dem Stuhle Petri, Leo XII. (1824–1829) und Gregor XVI. (1831–1846) steuerten jedoch einen extrem restaurativen Kurs, in dessen Rahmen für die städtebauliche Fortentwicklung Roms wenig Raum blieb.

Einer der Gründe hierfür war die Finanznot der Päpste und des Kirchenstaates, denn der in früheren Zeiten nach Rom fließende Geldstrom war schon im 18. Jahrhundert immer schwächer geworden und in einigen seiner Teile sogar ganz versiegt. Hinzu kam, daß der letzte noch völlig uneingeschränkt regierende Papst Pius VI. (1775–1799) nicht eben sparsam gewirtschaftet hatte. Das von ihm betriebene ehrgeizige Projekt der Trockenlegung der Pontinischen Sümpfe und der Bau seines Familienpalastes Braschi hatten große Summen verschlungen. Weiter bewirkte der erwähnte Frieden von Tolentino einen geradezu ruinösen Aderlaß der päpstlichen Finanzen, und schließlich ergaben sich aus der Durchführung der Restauration besondere Finanzprobleme, denn die Jahre der französischen Herrschaft waren nicht spurlos an den kirchenstaatlichen Verhältnissen vorübergegangen. Eine erhebliche Zahl von Aufständen in den Provinzen zeigte deutlich genug den Freiheits- und Demokratisierungsdrang der Bevölkerung, so daß die Erhaltung beziehungsweise wieder Herbeiführung der Verhältnisse des 18. Jahrhunderts nur durch eine kostspielige Armee und Polizei, beziehungsweise sogar durch die erbetenen – und ebenfalls zu bezahlenden – militärischen Interventionen Österreichs und Frankreichs sowie schließlich durch die dauernde Anwesenheit eines französischen Schutzkorps einigermaßen zu sichern war.

Aber abgesehen von diesen finanziellen Schwierigkeiten waren die beiden genannten Nachfolger Pius VII. auch in technischen Dingen alles andere als fortschrittlich gesonnen. Sie vermieden ängstlich längst fällige städtebauliche Aktivitäten und be-

schränkten sich auf einige besonders dringliche Maßnahmen wie etwa die Verlegung des Schlachthofes vor die Porta del Popolo und einige Straßensanierungen. Positiv zu vermerken sind allenfalls einige Ausgrabungen sowie die allerdings mißlungene Anlage eines neuen Tiberhafens beim Borgo von St. Peter, dem Porto Leonino, der rasch versandete.

Mit Pius IX. (1846–1878) gelangte schließlich ein Papst auf den Stuhl Petri, der durchaus modernisierungsfreundlich war. Während seines Pontifikats sind trotz erheblicher politischer und finanzieller Schwierigkeiten zahlreiche städtebauliche Maßnahmen durchgeführt worden, deren Schwerpunkte freilich vor allem im kirchlichen und Bildungsbereich, aber auch in der Kranken- und Armenpflege zu suchen sind. Für die Entwicklung Roms bedeutungsvoller sind dagegen der Bau zweier Brücken über den Tiber, die Wiederherstellung einer antiken Wasserleitung, der Acqua Marcia, die Einrichtung eines Telegraphenamtes, die Straßenbeleuchtung mit Gas sowie schließlich der Anschluß Roms an das im zügigen Ausbau befindliche Eisenbahnnetz der Halbinsel. Hinzu kamen Straßensanierungen und – wirtschaftlich bedeutungsvoll – die Einrichtung eines landwirtschaftlichen Instituts auf dem Caelius und einer Tabakfabrik in Trastevere. Hier entstanden, ebenso wie bei S. Clemente sogar einige Wohnblocks. Nicht alle diese Unternehmungen konnten von der noch immer bedrängten Apostolischen Kammer finanziert werden, wo immer es ging – wie etwa bei der Gasbeleuchtung – bediente man sich entsprechend konzessionierter privatwirtschaftlicher Unternehmungen. Im ganzen also nicht unbedeutende städtebauliche Aktivitäten, die die alte Metropole indessen noch lange nicht an den Ausbaustand anderer europäischer Kapitalen wie London oder Paris heranführten. Und wenn man den Stadtplan von 1870 mit dem von Beginn des 19. Jahrhunderts vergleicht, wird man von einem deutlichen Ausbau der Stadt nicht sprechen können (Abb. 5, 5b).

Die seit der Bildung des Königreichs Italien (1861) in Florenz amtierende italienische Regierung sollte ihre Tätigkeit in der neuen Hauptstadt Rom mit dem 1. 7. 1871 aufnehmen. Angesichts der bisherigen Funktion Roms – Sitz einer Kirchenregierung, die zugleich einen Kleinstaat verwaltete – und einem unbefriedigenden Ausbaustand der Stadt standen dem aber ganz erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Die von den Päpsten zu Verwaltungszwecken genutzten Baulichkeiten – im wesentlichen der Vatikan und die Cancelleria – sollten den Päpsten verbleiben, so daß auf andere, noch vorhandene Großbauten zurückgegriffen werden mußte. Königliche Residenz wurde der Quirinalspalast, dem Parlament wurde der Palazzo di Montecitorio zugewiesen, der Senat sollte die Villa Madama beziehen und der Ministerpräsident den Palazzo Chigi. Schließlich sollte möglichst jede der 14 Regimen der Stadt ein Ministerium erhalten, was sich freilich nicht zur Gänze durchführen ließ. Immerhin hat aber selbst in Trastevere ein Ministerium, das für Volksbildung, Platz gefunden.

War es schon schwierig genug, die Ministerien in einigermaßen angemessenen Bauten unterzubringen, so fehlte es nicht weniger auch an Wohnungen für die zuziehenden Staatsbeamten und -angestellten, die ca. 40.000 Wohnräume benötigten. Diesem Bedarf stand aber nur ein Angebot von etwa 500 Wohnräumen gegenüber, so daß ein beschleunigter Ausbau der Stadt eingeleitet werden mußte. Dementsprechend hatte

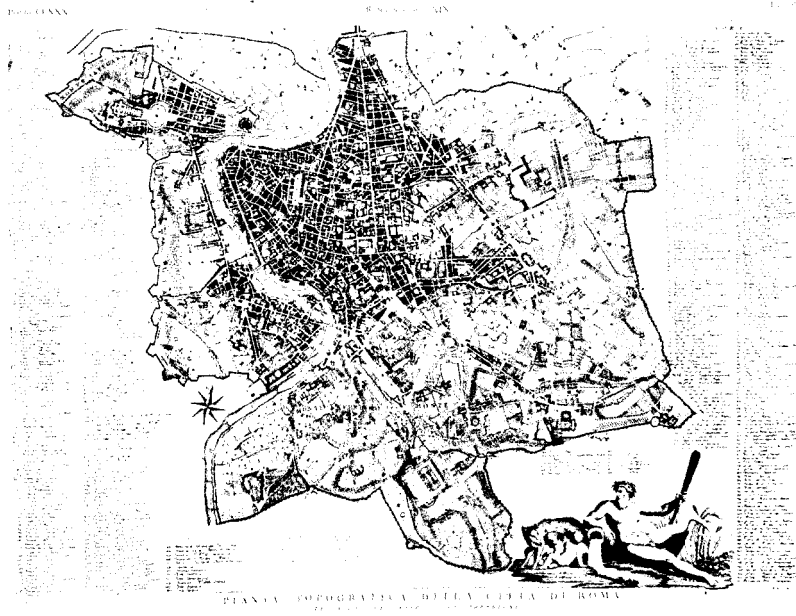


Abb. 5a:
Rom 1810

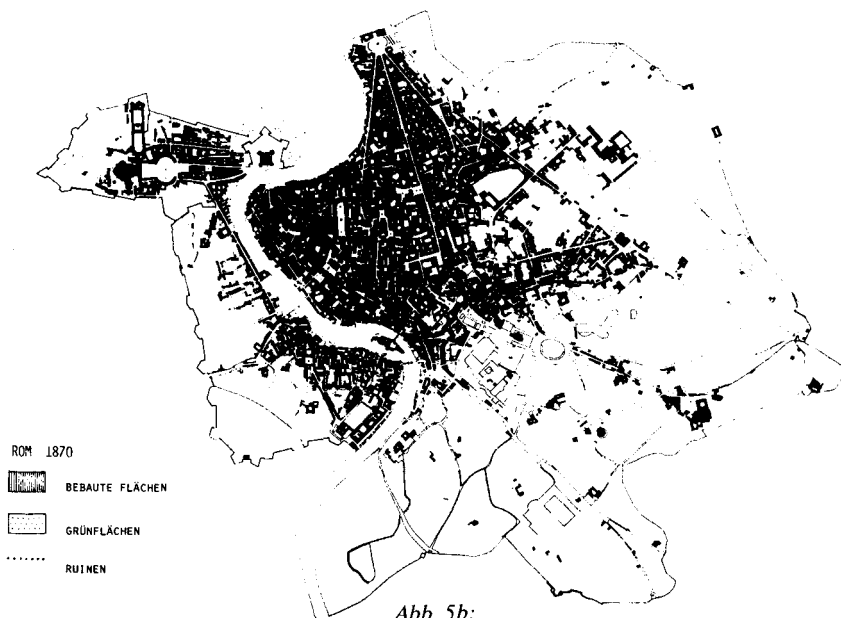


Abb. 5b:
Rom 1870

der Oberkommandierende der italienischen Armee, die Rom am 20. 9. 1870 eingenommen hatte, der General Cadorna, sogleich eine Kommission von Architekten und Ingenieuren eingesetzt, die den Ausbau Roms zur Hauptstadt planerisch vorbereiten sollte. Und man holte auch die Meinung des Gestalters des modernen Paris, des Barons Haussmann, ein, der den Bau einer neuen Stadt neben der alten empfahl. In der Tat hätte ein zeitgemäßer, den Bedürfnissen eines Regierungssitzes entsprechender Umbau des existenten Rom ja praktisch dessen weitgehende Zerstörung bedeutet. Deshalb war auch von vornherein unbestritten, daß sinnvollerweise zunächst einmal die im Laufe der Jahrhunderte in Gärten, Weinberge und landwirtschaftliche Nutzflächen verwandelten, intramuranen stadtrömischen Hügel, die „Monti“, zu bebauen waren. Kein geringerer als der Finanzminister Sella vertrat mit der Kommission den Plan, zunächst den Quirinal um die Diocletiansthermen herum zu bebauen und die weitere Bebauung sodann in Richtung auf den neuen Hauptbahnhof zum Esquilin hin zu entwickeln. Tatsächlich wurde auch der erste Verwaltungsbau der neuen Hauptstadt, das Finanzministerium, hart nördlich der Diocletiansthermen errichtet.

Indessen hatte die Planungskommission von Anfang an mit erheblichen Schwierigkeiten zu kämpfen. Denn abgesehen davon, daß es an einer für die Planung unerläßlichen topographischen Vermessung Roms mangelte, die erst einmal nachgeholt werden mußte, geriet sie bald unter politischen Druck, der von mächtigen Interessengruppen auf sie ausgeübt wurde. Denn schon hatte sich eine äußerst aktive Boden- und Baupekulation herausgebildet, deren Vertreter sich nur in ihrem Widerstand gegen den sich schon bald abzeichnenden Ausbauplan der Kommission einig waren. Eine ihrer

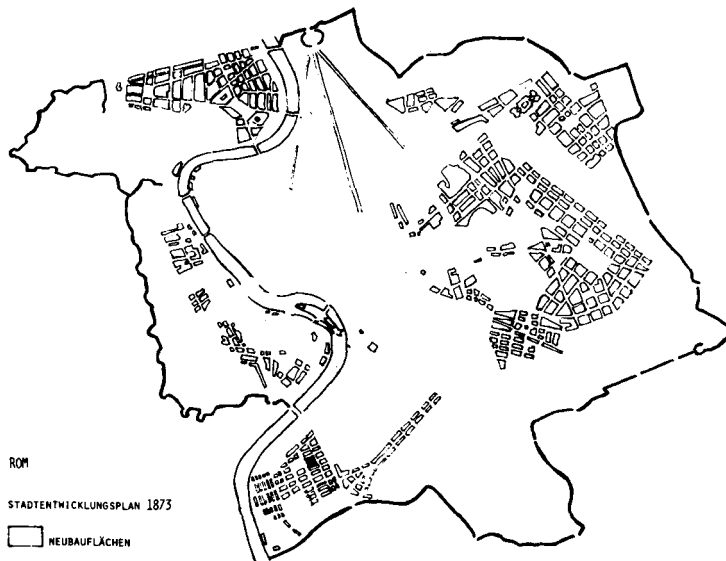


Abb. 6:
Stadtentwicklungsplan 1873

beiden Hauptgruppen bestand aus Grundstückseigentümern von Flächen auf den „Monti“, die für eine Bebauung zunächst nicht vorgesehen waren, also auf Viminal, Esquilin Caelius und Aventin, und die als „Monticiani“ bezeichnet wurden. Eine andere, nicht weniger mächtige Gruppe hatte das Gelände nördlich der Engelsburg, die „Prati di Castello“ an sich gebracht. Ihre Vertreter wurden als „Prataroli“ bezeichnet, und sie kämpften natürlich für die vorzugsweise Bebauung eben jener extramuranen „Prati“. Dem wachsenden Druck dieser Interessengruppen hielt die Kommission schließlich nicht stand. Sie trat zurück, und nun kam es zu Baugenehmigungen ohne Generalbebauungsplan sowie zu „wilder“ Bebauung. Ihnen fielen erhebliche Teile des Ludovisi-Viertels zum Opfer, womit erstmalig in den „Kranz von Villen und Gärten“ der Stadt eingegriffen wurde, und außerdem begann die Bebauung in den „Prati“, wo schnell ein ganz neues Viertel jenseits des Tibers im Entstehen begriffen war. 1871 begann sodann eine neue Kommission zu arbeiten, die schließlich 1873 einen Stadtentwicklungsplan vorlegte, der vom Gemeinderat im Prinzip auch gebilligt wurde (Abb. 6).

Wie ersichtlich, sind in ihm praktisch auf allen Hügeln Neubaugebiete ausgewiesen, aber eben auch solche, die von der ersten Kommission eigentlich nicht in Betracht gezogen worden waren, vor allem also im Ludovisi-Viertel und in den Prati di Castello. Außerdem berücksichtigte der Plan im Interesse eines besseren Verkehrsflusses zahlreiche Straßenbegradigungen und -erweiterungen sowie den Bau weiterer Brücken

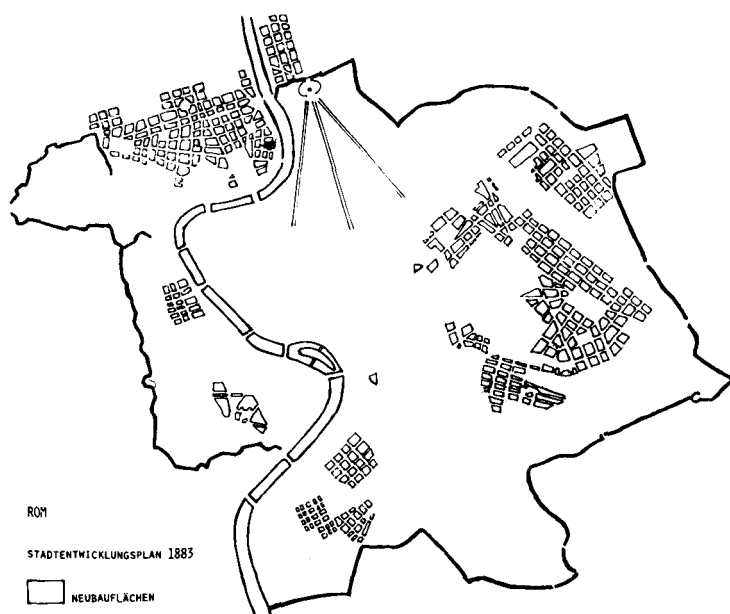


Abb. 7:
Stadtentwicklungsplan 1883

über den Tiber. Natürlich wurden die Arbeiten am Generalbebauungs- und Stadtentwicklungsplan fortgesetzt, und 1883 wurde ein zweiter Plan vorgelegt und genehmigt, der sich von seinem Vorgänger aus dem Jahre 1873 praktisch kaum unterscheidet. Er enthält das inzwischen mit oder ohne behördliche Genehmigung bereits weitgehend vollzogene (Abb. 7).

Inzwischen hatte sich eine umfangreiche Spekulation des Ausbaues Roms zur Hauptstadt Italiens bemächtigt, die einen gewaltigen Bauboom auslöste. Dieser Boom wuchs schnell über den eigentlichen Bedarf hinaus, denn der erwartete Zustrom von Bevölkerung blieb nach dem Aufbau der neuen Behörden weitgehend aus. Rom bot außer seinen kirchlichen und politischen Ämtern ja keine nennenswerten neuen Arbeitsplätze, es blieb, was es schon im Altertum und als päpstliche Metropole gewesen war, eine reine Verwaltungsstadt, die durch ein bedarfsgerechtes Handwerk und einen entsprechend dimensionierten Handel hinreichend versorgt war. Der forcierte Ausbau der Stadt konnte deshalb auch nur mit auswärtigen Bauarbeitern durchgeführt werden, die in Rom weitgehend bei ihren Baustellen leben und kampieren mußten. Und als sich herausstellte, daß die bereits fertigen beziehungsweise in Bau befindlichen Gebäude keine Mieter finden würden, brach die Spekulation unter zahlreichen Konkursen gegen 1890 zusammen. Den Bauarbeitern konnten keine Löhne mehr gezahlt werden, und als sie dieserhalb revoltierten, wurden sie mit Polizeigewalt in ihre Heimatprovinzen abgeschoben. Zurück blieben zahlreiche leerstehende Wohnungen und Bauruinen, und es dauerte beinahe zwei Jahrzehnte, bis die halbfertigen Gebäude schließlich fertiggestellt und das Raumangebot und die Raumnachfrage wieder einigermaßen miteinander ausgeglichen waren.

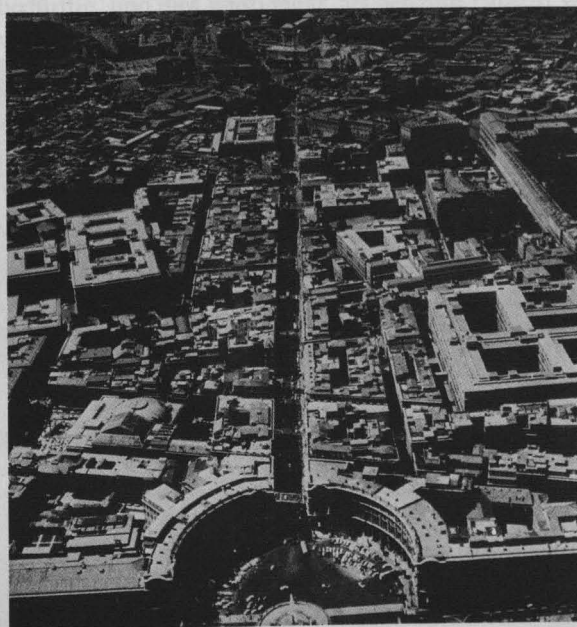
Blieb der Bau von Wohngebäuden, abgesehen von ersten subventionierten Wohnquartieren, privaten Bauherren überlassen, so mußte die Stadt für einen entsprechenden Ausbau von Straßen sorgen, was ihre Finanzkraft bald überstieg, so daß erst massive staatliche Unterstützung hier Abhilfe schaffte. Dabei hatte sich als richtungsweisendes neues Verkehrszentrum sehr bald der Hauptbahnhof Roms, die Stazione Termini herausgestellt, der sich aus einem bescheidenen Stationsbau von 1864 über einen Neubau von 1867 an immer der gleichen Stelle zu der heutigen, schon vor dem zweiten Weltkrieg begonnenen Anlage entwickelt hat.

Schon unter Berücksichtigung des Gutachtens von Baron Haussmann war es sinnvoll, den Bahnhofsbereich mit der Altstadt zu verbinden. Bestrebungen hierfür gab es schon zur päpstlichen Zeit, als der päpstliche Kriegsminister Monsignore De Merode, größere Flächen unbebauten Geländes südwestlich der Diocletiansthermen aufkaufte und für eine Verbindungsstraße billig zur Verfügung stellte. Zunächst kam es dabei freilich nur zu schwachen Ansätzen (erstes Haus an dieser Straße 1868/70). Später entstand dann aus mehreren, zum Teil sehr unterschiedlichen Vorschlägen, die heutige Via Nazionale, deren Einmündung in die alte Stadt als ein Kompromiß verstanden werden muß (Abb. 8a, 8b).

Die neue Straße führte von der Exedra der Diocletiansthermen schnurgerade und in gehöriger Breite bis zur Piazza Magnanoli, einem schon damals wichtigen Verkehrspunkt bei den Markthallen des Trajan. Weiter über die Via 4. Novembre, vorbei



*Abb. 8a:
Führung der Via Nazionale*



*Abb. 8b:
Via Nazionale*

am Palazzo Colonna und der Piazza SS Apostoli zur Piazza Venezia, wo sie der Via del Corso begegnete. Stand für diese erste hauptstädtische Straße noch unbebautes und von De Merode billig angebotenes Gelände zur Verfügung, so lagen die Verhältnisse hinsichtlich einer großzügigen Erschließung der Altstadt durch eine hinreichend leistungsfähige, also genügend breite Straße wesentlich ungünstiger. Eine solche

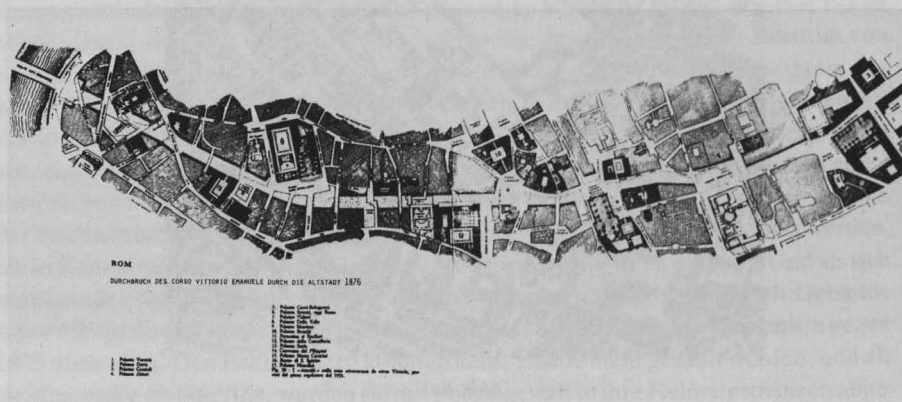


Abb. 9a:

Durchbruch des Corso Vittorio Emanuele durch die Altstadt 1876



Abb. 9b:

Durchbruch des Corso Vittorio Emanuele ab 1876

Straße konnte nur mittels eines Durchbruchs durch ein eng bebautes Gebiet realisiert werden (Abb. 9a, 9b). Und natürlich sind dieser neuen Straße, dem Corso Vittorio Emanuele, zahlreiche wertvolle, vor allem Renaissancebauten zum Opfer gefallen, doch öffnet er die Altstadt und bietet eine Fortsetzung der Via Nazionale zum Tiber, zum St. Peter und zum Vatikan.

Rom war nun verkehrsmäßig durch drei bedeutende Straßenzüge wesentlich bestimmt, durch die Via del Corso, die Via Nazionale und den Corso Vittorio Emanuele. Alle treffen an der Piazza Venezia zusammen, deren zentrale Funktion auf diese Weise ihre erneute Bestätigung fand, die sich im übrigen schon aus viel älteren lokalen Aktivitäten, nämlich aus ihrer Lage beim Kapitol, dem Forum Romanum und den Kaiserforen herleitete. Nun aber erschien der Platz für seine erheblich gesteigerte Zentralität dringend ausbau- beziehungsweise erweiterungsbedürftig, zumal sich sogleich ein neues Vorhaben der Lokalität bemächtigte, nämlich die Schaffung eines monumentalen Denkmals, das an die erst vor kurzem erlangte Einheit der Nation und deren Vollstrecker, König Viktor Emanuel II. erinnern sollte.

Die östliche Kuppe des kapitulinischen Hügels – bekrönt durch die Kirche S. Maria in Aracoeli – war an ihrem Ost- und Nordhang noch stark bebaut. Hier fand sich vor allem eine Turmvilla Papst Pauls III. von 1546, die später zu einem Teil des sich an die genannte Kirche schließenden Franziskanerklosters geworden war. Diese Bebauung wurde nun beseitigt, da der Nordhang des Hügels das Nationaldenkmal mit Front gegen die Via del Corso aufnehmen sollte. Aber auch die Piazza Venezia selbst war erweiterungsbedürftig, und dies umso mehr, als der zum Palazzo Venezia gehörende Palazzetto den Blick auf den kapitulinischen Hügel und damit auch auf das geplante Nationaldenkmal beeinträchtigte. Der Palazzetto wurde deshalb auf die andere Seite des Palazzo Venezia versetzt und außerdem der die Piazza nach der Ostseite hin begrenzende Palazzo Bolognetti-Torlonia zusammen mit anderen Gebäuden abgerissen. In gehörigem Abstand vom Palazzo Venezia wurde an ihrer Stelle ein diesem ähnlicher „Pendantbau“ (Venezianische Versicherungsgesellschaft) errichtet, so daß ein geräumiger Platz entstand, dessen Rückseite wie eine Schauwand das Nationaldenkmal beherrscht (Abb. 10a, 10b).

Nachdem das von den römischen Urbanisten so benannte „Baufieber“ von 1890 abgeklungen und die von ihm hinterlassenen Bauruinen allmählich fertiggestellt und vermietet waren, wurde ein neuer Stadtentwicklungsplan erforderlich. Das nach 1870 zunächst nur schwache Wachstum der stadtrömischen Bevölkerung beschleunigte sich mehr und mehr. Hatte die Bevölkerung Roms von 1871 bis 1881 nur um rund 50.000 Einwohner zugenommen, so wuchs die Bevölkerung in der nächsten Zeit – abgesehen von den 90er Jahren – schneller an. Um 1900 zählte man immerhin gut 400.000 Einwohner, und bis 1911 waren es nunmehr schon über 500.000.

Die Bauspekulation der endachtziger Jahre war jedoch nicht nur quantitativ über das Ziel hinausgeschossen, sondern auch qualitativ, indem vor allem Nobelwohnungen gebaut wurden, wobei man sich wohl an den Pariser Boulevards orientiert hatte. Dabei gab es in Rom durchaus eine Wohnungsnachfrage, nur eben nach billigen Wohnungen. Dem hatte der schon erwähnte subventionierte, aber zunächst viel zu schwache Bau

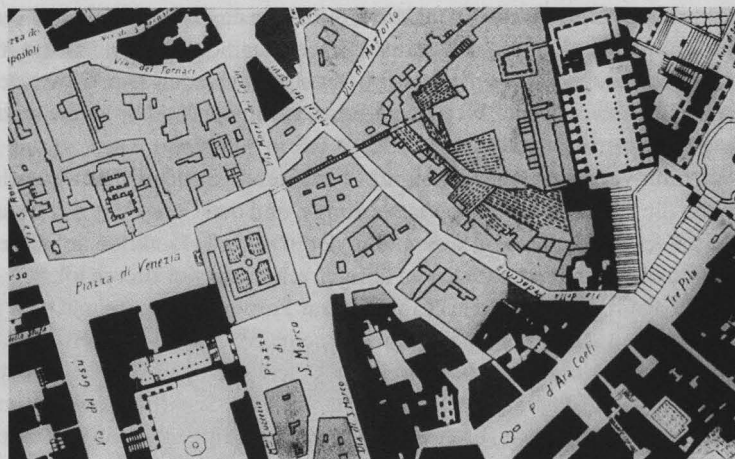


Abb. 10a:
Die Neugestaltung der Piazza Venezia 1890–1910



Abb. 10b:
Die Piazza Venezia mit dem Nationaldenkmal

von „Volkswohnhäusern“ abzuweichen versucht. Er, dazu eine verstärkte Bautätigkeit von Kooperativen begannen nun über den Esquilin hinaus die noch leeren intramuranen Flächen am Testaccio, auf dem Caelius, bei S. Croce und auf dem Aventin auszufüllen und auch schon, so bei der Porta Maggiore, über die Mauern hinaus zu wachsen. Der 1909 vorgelegte Stadtentwicklungsplan (Abb. 11) weist deshalb innerhalb der



Abb. 11:
Stadtentwicklungsplan 1909

Mauern auch keine Neubauflächen mehr aus, sondern nur noch solche außerhalb derselben, und das nach allen Richtungen hin, vor allem nochmals in den Prati di Castello, nördlich der Porta del Popolo, nördlich und südlich der Via Nomentana und vor der Porta S. Giovanni. Ergänzt wurde der Entwicklungsplan von 1909 durch das Projekt einer Weltausstellung, die 1911 zum 50jährigen Jubiläum des Königreichs Italien in Rom gezeigt werden sollte. Sie wurde an zwei Stellen lokalisiert, einmal im sogenannten Valle Giulia, wo sich Papst Julius III. (1534–1549) eine Villa hatte bauen lassen, und zum anderen etwa auf gleicher Höhe auf der Westseite des Tiber (Abb. 12).

Im Valle Giulia wurde Kunst gezeigt, hier findet sich noch heute das vorzügliche Etruskische Museum, die Galerie der Modernen Kunst, die Fakultät für Architektur, die Akademie der Künste und anderes mehr. Auf der anderen Tiberseite waren die Empfangssalons und die Pavillons der italienischen Provinzen, die hier ihre Produkte zeigten. Dieser Teil der Ausstellung hat praktisch keine Spuren hinterlassen. Beim Eintritt Italiens in den ersten Weltkrieg (1915/16) bot sich der Stadtplan Roms wie folgt dar (Abb. 13).

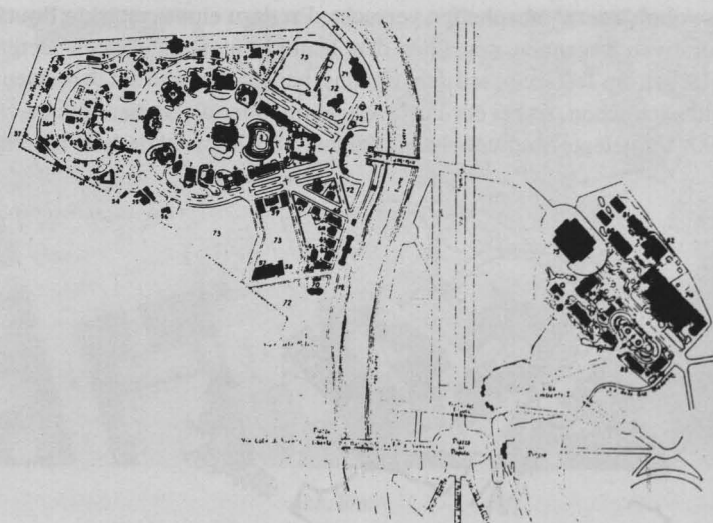


Abb. 12:
Plan der Ausstellung von 1911



Abb. 13:
Stadtplan 1916

Das intramurane Gebiet ist weitgehend bebaut, lediglich vom Kapitol und Kolosseum nach Süden gegen die Porta S. Paolo, Porta S. Sebastiano und Porta Latina, auf dem Oppius, Caelius und Aventin finden sich zwischen den hier reichlich vorhandenen antiken Ruinen noch Grünflächen, dieser Bereich wird einmal zur archäologischen Zone Roms mit absolutem Bebauungsverbot erklärt werden. Außerhalb der Mauern fallen neben den im Zusammenhang mit dem Entwicklungsplan von 1909 genannten extramuranen Neubaugebieten vor allem die schon vollständig aufgesiedelten Prati di Castello ins Auge, die einmal – obwohl extramuran – als 22. Region der Stadt ausgewiesen werden.

Während im Kriege und in der unmittelbaren Nachkriegszeit naturgemäß so gut wie nichts für den Ausbau Roms geschehen konnte, bemächtigte sich der an die Macht gelangte Faschismus sogleich dieser Aufgabe, wobei seine imperiale Tendenz zur Darstellung kommen sollte. Möglichkeiten hierzu boten die noch reichlich vorhandenen Überreste des antiken Rom, die freilich zum Teil freigelegt, beziehungsweise publikumswirksam arrangiert werden mußten. Das wichtigste Beispiel hierfür bieten die Kaiserforen, durch die eine neue Prachtstraße, die Via del Impero – heute bescheidener Via dei Fori Imperiali genannt – gelegt wurde. Zwar waren Lage und Umfang der Kaiserforen längst bekannt und Teile von ihnen auch ausgegraben worden, der Stadtbezirk, in dem sie sich befanden, war aber weitgehend geschlossen bebaut. Zur völligen Freilegung der Foren des Caesar, Trajans und Augustus sowie des Forum Trasitorium mußte beinahe ein ganzer Stadtteil abgerissen werden, um die geplante Prachtstraße hindurchlegen zu können, wobei allerdings auch das Forum des Nerva völlig überdeckt werden mußte (Abb. 14 a, 14 b).

Ganz ähnlich verhielt es sich mit der Via del Mare – heute Via del Teatro Marcello – am Fuße des Kapitols, der die folkloristisch bedeutsame Piazza di Montanara geopfert wurde. Eine völlige Neugestaltung erfuhr schließlich auch die Umgebung des Grabmals des Kaisers Augustus. Es wurde freigelegt, die Ara Pacis daneben aufgestellt – dort, wo sich früher der Porto di Ripetta befand – und das entstandene Gebiet mit besonders langweiligen Gebäuden umrahmt (Abb. 15).

Und schließlich wurde auch in die wenigen noch vorhandenen Reste des Borgo von St. Peter eingegriffen, von dem erhebliche Teile für eine weitere Prachtstraße, die Via della Conciliazione, geopfert wurden, um den Friedensschluß Italiens mit dem Papst durch die Lateranverträge von 1929 zu feiern (Abb. 16).

Bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges war die Einwohnerzahl Roms auf gut eine Million Einwohner angewachsen. Und natürlich wurden im Zuge der Stadtentwicklung und in Ausführung des Stadtentwicklungsplanes nicht nur Repräsentationsobjekte wie die Via del Impero, das Augusteum oder die Via della Conciliazione erstellt. Die rund 800.000 Einwohner, die nach Beendigung des ersten Weltkrieges Rom bevölkerten, mußten ja untergebracht werden, und so entstand bereits zwischen den Weltkriegen eine ganze Reihe von Siedlungskomplexen außerhalb der Stadt. Anfangs wurde dabei noch versucht, sinnvoll strukturierte Wohnkomplexe zu schaffen, wie etwa Garbatella nach dem Prinzip der englischen Garden-cities oder die Besiedlung des Monte Sacro. Bald aber schlug der Bodenpreis bei der Lokalisierung und Gestaltung neuer Sied-

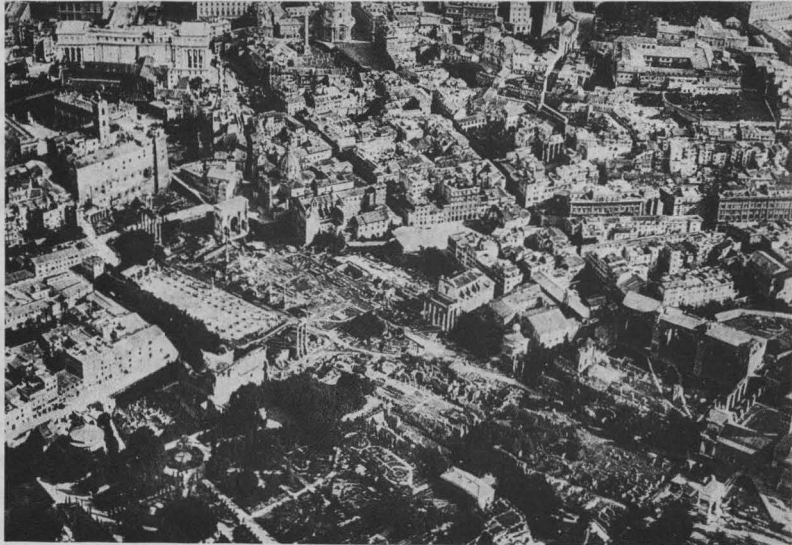


Abb. 14a:
Gelände der Kaiserforen vor der Umgestaltung von 1930



Abb. 14b:
Via del Impero (dei Fori Imperiali)



*Abb. 15:
Piazza Augusto Imperatore*



*Abb. 16:
Via della Conciliazione*

lungskomplexe im Umland der Stadt voll durch, und so entstanden zunehmend trostlose Anhäufungen von hochgeschossigen Wohnbauten auf der grünen Wiese. Eine Ausnahme stellt lediglich die sorgfältige Planung und schließliche Ausführung des Quartiers EUR (Esposizione Universale di Roma) nach dem 2. Weltkrieg dar, wie überhaupt nach dem zweiten Weltkrieg eine neue Entwicklung Roms beginnt, so daß man für diese neueste Zeit vielleicht schon von einem vierten Rom sprechen muß.

Literatur

- Angeli, Diego: Collezione di Monografie illustrate, Roma, Vol. I e II, Bergamo 1908.
 Asmus, Gesine: Rom in frühen Photographien aus römischen und dänischen Sammlungen, München 1978.
 Benckiser, Nikolaus: Das Dritte Rom, Frankfurt/Main 1938.
 Benevolo, Leonardo: Roma da ieri a domani, Bari 1971.
 Castaglioni, Pietro: Della popolazione di Roma dalle origine ai nostri tempi, in Monografia della Città di Roma, Vol. II, Roma 1881.
 Comune di Roma Ufficio statistica e censimenti: Annuario statistico della Città di Roma, 1948 ff., Roma 1953 ff.
 Comune di Roma Ufficio statistica e censimenti: Bolletino statistico, 1963 ff.
 Comune di Roma Ufficio speciale Nuovo Piano Regolatore: Analisi e computo delle aree e zone del Piano Regolatore Generale 1959, Vol. I e II, Roma 1961.
 Croce, Benedetto: Geschichte Italiens 1871–1915, Berlin 1928.
 Döllinger, Joh., Jos. Ign. v.: Kirche und Kirchen, Papsttum und Kirchenstaat, München 1861.
 Fazio, Mario: Historische Stadtzentren Italiens, Köln 1980.
 Insolera, Italo: Storia del primo Piano Regolatore 1870–1874.
 Insolera, Italo: Relazione di Alessandro Viviani intorno al progetto di un piano regolatore definitivo della città di Roma (4. Luglio 1873).
 Insolera, Italo: La capitale in espansione, alle in „Urbanistica“ Nr. 27/29, Torino, o. J.
 Istituto di Studi Romani: Le piante di Roma, Roma 1962.
 Köberle, J. G.: Rom unter den letzten drei Päpsten, Bd. I u. II, Leipzig 1846.
 Maguire, John Francis: Rom und sein Beherrscher, seine Staatseinrichtungen und öffentlichen Anstalten, Köln 1861.
 Osservatore Romano: Rom als Hauptstadt von Italien, Freiburg 1881.
 Ranke, Leopold von: Die römischen Päpste, Stuttgart 1953.
 Schlözer, Kurd von: Römische Briefe 1864–1869, Stuttgart und Berlin 1914.
 Seidlmayer, M. und Schieder, Th.: Geschichte des italienischen Volkes und Staates, in „Die große Weltgeschichte“, Bd. 9, Leipzig 1940.
 Seppelt, F. X. und Schwaiger, G.: Geschichte der Päpste, München 1964.
 Steinmann, E.: Die Plünderung Roms durch Bonaparte, Sonderdruck aus dem Jahrgang 11, Heft 6 und 7 der Internationalen Monatsschrift für Wissenschaft, Kunst und Technik, Leipzig, o. J.
 Tafuri, Manfredo: La prima strada di Roma moderna: Via Nazionale, in „Urbanistica“, Nr. 27–29, Torino, o. J.
 Zocca, Mario: Roma Capitale d'Italia, in Storia di Roma Vol. XXII „Topografia e Urbanistica di Roma“ des Institutio di Studi Romani, Bologna 1958.
- Abbildungen nach:
- Benevolo, L., Roma da ieri a domani, Bari 1971
 Istituto di Studi Romani, Le Piante di Roma, Bd. III, Roma 1962
 Urbanistica 27–28–29, Roma, Torino 1959

Technologietransfer als Herausforderung

– Kurzfassung –

Von **P. Funke**, Clausthal-Zellerfeld

Das heute in verschiedenen Situationen verwendete Schlagwort vom Technologietransfer bedarf einer Präzisierung in der Zielsetzung sowie in den Elementen zur Realisierung und zur Erfolgskontrolle. So liegt ein hauptsächliches Problem in der Abgrenzung zu Engineering-Aktivitäten, die mit dem Anlagengeschäft und der Weitergabe von Know-how verbunden sind.

Die rasante Entwicklung auf verschiedenen technologischen Gebieten ermöglicht Anwendungen in nie gekannten und schwer abschätzbaren Dimensionen. Das erfordert nicht nur eine Anpassung in den technischen Einrichtungen, sondern auch im Ausbildungsstand der Ausführenden, in der Ankopplung an das Umfeld und die Umwelt sowie in soziologischen Maßnahmen. Es wird darauf ankommen, die Möglichkeiten aber auch die Grenzen und Konsequenzen neuer Technologien aufzuzeigen. Es geht nicht darum zu wissen, welcher technische Aufwand für die Lösung einer Aufgabe notwendig ist und wo diese hierfür notwendigen Einrichtungen zu kaufen sind, sondern um die Vermittlung von Erkenntnissen und die Darstellung alternativer Technologien, wobei das Hauptgewicht auf der Entwicklung der Fähigkeiten liegt, Erkenntnisse zu bewerten, sie in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit bei der Lösung von Aufgaben zu analysieren und sie unter Berücksichtigung der jeweils vorherrschenden Ausgangsbedingungen zu optimieren.

Es wurde dargelegt, auf welche Zielgruppen sich danach die Bemühungen des Technologietransfers konzentrieren:

- das Umfeld unserer Technik, bei dem Unverständnis, Mißtrauen und Mißverständnisse abzubauen sind, wo Interesse für Technologie geweckt werden soll, und zwar mit der Demonstration von Anwendungsmöglichkeiten und allgemeinen Problemlösungen
- die nationalen Anwender von Technologien durch Förderung der Kreativität und Innovation mit Hilfe von Demonstrationen für Anwendungsfälle, Hilfestellung und Vermittlung von Experten
- die Verantwortlichen für technologische Entwicklungs- und Industrialisierungsprojekte insbesondere für Länder der Dritten Welt.

Diese vielfältige Aufgabenstellung ist stark ausbildungsbezogen, denn Technologietransfer ist nur im partnerschaftlichen Verhältnis zur vollen Wirksamkeit zu entwickeln, wo die Partner selbst die Entscheidung treffen müssen, welche Ausführungsform der Technologie den vorherrschenden Ausgangsbedingungen am besten angepaßt werden kann. Die Aufgabenstellung favorisiert geradezu die interdisziplinäre Zusammen-

arbeit zwischen Wissenschaftlern und Fachleuten verschiedener Fachgebiete, denn hiermit können alle möglichen Beweggründe zur Technologieanwendung und -weiterentwicklung im Zusammenhang mit verschiedenartigen Ausgangspositionen berücksichtigt werden.

Am Beispiel eines Industrialisierungsmodells zur Herstellung von Eisen und Stahl konnten die verschiedenartigen Ausgangspositionen erläutert werden. Die Wahl gerade eines solchen Projektes eröffnet die Möglichkeit, die weitverbreitete Tendenz, die Industrialisierung mit Hüttenwerken zu beginnen, besonders kritisch zu analysieren. Es werden hierzu die notwendigen Ausgangsvoraussetzungen quantifiziert, die Verwirklichung in Stufen begründet und die Störungsmöglichkeiten in einem solchen Industrialisierungsprogramm aufgezeigt. Es ist beabsichtigt, die Methodik in der Entwicklung von Modellen zur Einführung von neuen Technologien und zur Industrialisierung in verschiedenartigen Produktionszweigen zu systematisieren.

Eine ausführliche Darstellung erscheint in den Abhandlungen der BWG.

Über einige Ergebnisse aus der kombinatorischen Zahlentheorie – Zusammenfassung –

Von **Hans-Joachim Kanold**, Braunschweig

Mit einer abgeänderten Definition der Monotonie läßt sich zeigen, daß gewisse zahlentheoretische Funktionen, z. B. $\eta(x) = \pi(x) \cdot x^{-1} \cdot \log x$ in dem o. a. Sinne monoton abnehmend sind und einem Grenzwert zustreben. Für die Funktion $\eta(x)$ werden leider nicht nur elementare Hilfsmittel benötigt. Sonst wäre ein neuer Beweis des Primzahlsatzes gelungen. Aber mit ganz einfachen Methoden kann gezeigt werden, daß z. B.

$$\omega\left(\binom{2k}{k}\right) \cdot \frac{\log 2k}{2k}$$

und ähnliche zahlentheoretische Funktionen „eingeschränkt monoton abnehmend“ sind und einem Grenzwert zustreben. Es ist dabei $\omega(n)$ die Anzahl der verschiedenen Primteiler der natürlichen Zahl n . Weiterhin werden sehr genaue Abschätzungen der Binomialkoeffizienten und Folgerungen hergeleitet. Eine ausführliche Darstellung erscheint in den Abhandlungen der BWG, Band 36.

Klassensitzungen

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

6. 4. 1984 in Braunschweig
Heinz Bartels: „Über den plazentaren Gasaustausch“
13. 7. 1984 in Braunschweig
Ekkehard Winterfeldt: „Sind Naturstoffe bessere Heilstoffe?“
9. 11. 1984 in Braunschweig
Henning Hopf: „Die Aromatenchemie auf dem Wege in die dritte Dimension“

Klasse für Ingenieurwissenschaften

16. 3. 1984 in Hannover Regularien
13. 7. 1984 in Braunschweig Regularien
19. 10. 1984 in Braunschweig Regularien
14. 12. 1984 in Braunschweig Regularien

Klasse für Bauwissenschaften

9. 11. 1984 in Braunschweig
Hans-Joachim Wierig: „Junger Beton“

Klasse für Geisteswissenschaften

5. 5. 1984 in Braunschweig
Jost Schillemeit: „Der unbekannte Bote – Zu einem neu entdeckten Widmungstext Franz Kafkas“
2. 6. 1984 in Braunschweig
Gregor Maurach: „Pindar“
3. 11. 1984 in Braunschweig
Gregor Maurach: „Seneca“

Placentarer Gasaustausch

Von **H. Bartels**,

Zentrum Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover

Die (1) **anatomische Struktur**, die Art der (2) **Blutströmungen** auf der mütterlichen und fetalen Seite, besonders im Bezug zueinander, sowie die (3) **Sauerstoffaffinität und Konzentration** des roten Blutfarbstoffes in beiden Blutarten beeinflussen den Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxyd zwischen Mutter und Embryo bzw. Fetus.

(1) Die Placenten der einzelnen Säugetierordnungen zeigen makroskopisch und mikroskopisch große Unterschiede. Die morphometrisch gemessenen fetalen Kapillaroberflächen schwanken zwischen 4 (Mensch) und 20 m² kg⁻¹ Fetus (Meerschweinchen). Die Trennschichtenanzahl zwischen mütterlichem und fetalem Blut variiert von einer bei Insektenfressern, drei bei Primaten und sechs bei Paar- und Unpaarzechern. Nur ein loser Zusammenhang zwischen Trennschichtenanzahl und Ausmaß des O₂-Austausches ist nachweisbar.

(2) Ein Gegenstrom-Austauschsystem ist morphologisch bei Schaf und Ziege sowie bei Hasenartigen nachweisbar, funktionell ist es nur bei Kaninchen effizient. Bei Schaf und Ziege sind die Diffusionsstrecken zwischen beiden Blutarten zu groß. Bei Primaten und dem Menschen strömt mütterliches Blut den Sauerstoff abgebend an vielen Zottenkapillaren vorbei. Ein solches Austauschsystem steht, sonst gleiche Austauschbedingungen vorausgesetzt, in der Effizienz zwischen Gleich- und Gegenstromsystem.

(3) Alle Säugetierfeten haben Blut mit einer mehr oder weniger erhöhten O₂-Affinität gegenüber dem Blut ihrer Mütter. Dies begünstigt den O₂-Übertritt ins fetale Blut, weil eine höhere O₂-Partialdruckdifferenz beim Austausch wirksam ist. In gleicher Weise wirkt die Höhe der Hämoglobinkonzentration beider Blutarten. Bei Schaf, Ziege, Meerschweinchen und Ratte wird der Austausch vor allem durch eine hohe Affinitätsdifferenz, beim Menschen, den Elefanten und Kamelarten ist die Summe der Hämoglobin-Konzentrationen im fetalen und mütterlichen Blut für eine große O₂-Partialdruck-Differenz verantwortlich. Die Bedeutung einer hohen Hämoglobinkonzentration für eine ausreichende fetale O₂-Versorgung wird bei Müttern mit dem pathologischen Hämoglobin Rainier, bei dem eine negative Affinitäts-Differenz zwischen Mutter und Fetus besteht, erläutert.

Sind Naturstoffe bessere Heilstoffe?

Von **E. Winterfeldt**, Hannover

Die Frage, ob Naturstoffe bessere Heilmittel sind, ist gerade in der heutigen Zeit und ebenso wahrscheinlich in der nahen Zukunft von hoher Aktualität. Ausgelöst durch eine gewisse Industrie- und Technikfeindlichkeit und eine nur sehr bedingte Akzeptanz chemischer Verfahren und Produkte hat sich in den letzten Jahren eine Phytotherapie entwickelt, bei der hohe Erwartungen in pflanzliche Wirkstoffe gesetzt werden. Bezeichnungen wie „reiner Pflanzenwirkstoff“ oder „biologisch aktiv“ prangen auf vielen Packungen und werden erstaunlicherweise von den Käufern auch sehr ernst genommen. Auf den ersten Blick scheint die Verwendung von Naturstoffen als Wirkstoffen auch durchaus angezeigt zu sein. Da man mit Verbindungen operiert, die sich im Laufe der Evolution in der Zelle gebildet haben, und die somit den Enzymen und Rezeptoren wohlvertraute Akteure sind. Ihre Aufnahme, Erkennung und spätere Metabolisierung werden keine Schwierigkeiten machen, und man kann daher in der Tat positive Erwartungen in Naturstoffe setzen. Zur genaueren Beurteilung indessen ist es angebracht, sich noch einmal der Tatsache zu erinnern, daß mit jeder Wirkstoffaktivität eine chemische Interaktion einhergeht und daß somit Wirkstoffqualität – wie auch metabolistisches Schicksal – einer bestimmten Substanz eng verknüpft sind mit ihrer Konstitution – also der Art und Weise, in der die Atome dieses Moleküls miteinander verknüpft sind – und der Konfiguration – also der räumlichen Anordnung aller Zentren. Bedenkt man dieses, dann kommen einem sehr schnell Zweifel, ob die Natur hier wirklich optimiert und den besten Wirkstoff entwickelt hat. Es scheint notwendig hinzuzufügen, daß bei der hier vorliegenden Analyse die Qualität nur aus der Sicht des Chemikers gesehen wird, orientiert an der Frage: Repräsentiert die von der Natur bereitgestellte Substanz aufgrund ihrer Konstitution und Konfiguration tatsächlich aus chemischer Sicht einen besonders guten Wirkstoff? Es ist m. E. notwendig, diese Einschränkung zu machen, denn eine solche Qualitätsanalyse und Einstufung kann natürlich wegen der bemerkenswerten Vielschichtigkeit der Arzneimittelproblematik unter den verschiedensten Aspekten betrachtet werden. Ein Mediziner wird andere Prioritäten setzen als ein Pharmazeut, und ein Galeniker wird ganz anderen Aspekten Aufmerksamkeit schenken als ein Pharmakologe.

Hier soll der Frage nur aus chemischer Sicht nachgegangen werden und Konstitution und Konfiguration im Hinblick auf optimierte biologische Aktivität bei möglichst geringen Nebenwirkungen beleuchtet werden.

Als besonders einprägsame Beispiele können sehr prominente und den meisten Menschen wohlvertraute Naturstoffe zitiert werden, bei denen bezüglich der Wirkstoff-Qualität viele Wünsche offenbleiben. Morphin als das erste kristallin und rein isolierte Alkaloid ist zwar ein ausgezeichnetes Analgetikum, aber die damit einher-

gehende Atemdepression und die teuflische Suchterregung haben schon früh zur Suche nach Alternativen angeregt, die zwar insgesamt einige Erfolge erbracht hat, aber das Problem der Suchterregung ist auch bei den verbesserten nicht natürlichen Varianten bis heute nicht gelöst, und es wird daher sogar heute ein ursächlicher Zusammenhang dieser beiden Aktivitäten diskutiert.

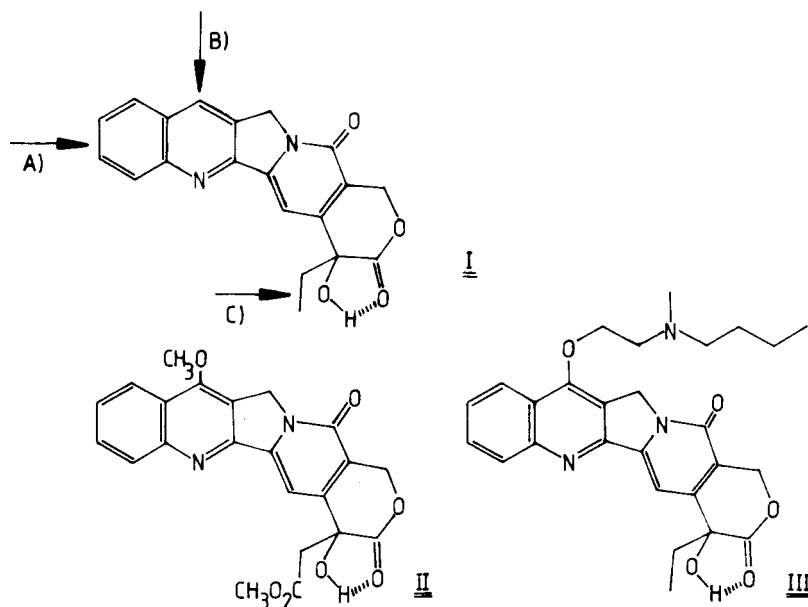
Das ebenfalls sehr lange bekannte Lokalanästhetikum Kokain ist durch sehr ähnliche Probleme charakterisiert. Mit der erwünschten Wirkung geht eine beachtliche Toxizität einher und vor allem eine sehr bemerkenswerte psychotrope Nebenwirkung. Eine euphorische, übersteigerte Erwartung in die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit ist wohl die Hauptursache für den hier immer wieder beobachteten Abusus. Zu dieser Negativliste gesellt sich dann noch ein rein technisches Problem, nämlich die Instabilität der Lösungen – eine Eigenschaft, die bei einer zu injizierenden Substanz besonders mißlich ist. Dieser letzte Makel hat seine Ursache in der Konfiguration des Wirkstoffes und ist chemisch aus der besonders effizienten trans- β -Eliminierung zu verstehen, und es war daher naheliegend, das Stereoisomere Dextrocain zu bereiten, das nicht nur stabiler, sondern auch noch 10 mal stärker wirksam ist, ohne eine psychotrope Nebenwirkung. Dieses Beispiel lehrt, wie eine im Grunde nur geringfügige Abweichung vom Naturstoff selbst bereits eine dramatische Verbesserung des Wirkstoffes herbeiführen kann.

Etwas durchgreifender müssen bereits die chemischen Veränderungen bei Entzündungshemmern wie Cortison und Hydrocortison sein. Auch hier sind diverse unangenehme Nebenwirkungen zu verzeichnen wie die Gluconeogenese, die zu Steroiddiabetes führt, die mineralocorticoide Wirkung (Natriumretention) sowie die Immunsuppression, also die Erhöhung der Infektionsanfälligkeit des Patienten. Erhebliche Verbesserungen konnten hier durch Einführung des recht exotischen Fluoratoms in die 6-Position des Steroids erreicht werden (Ultralan). Diese Transformation ist im Wirkstoffbereich immer interessant, da eine deutliche Veränderung der elektronischen Eigenschaften bei unveränderter Molekülgestalt und ebenfalls unverändertem Raumanspruch herbeigeführt wird.

Eine ebenfalls elektronische Maßnahme wird ergriffen, wenn man bei den Penicillinen die hohe Säureempfindlichkeit durch Einbau einer Aminogruppe herabsetzt und auf diese Weise im Ampicillin einen sehr viel stabileren Wirkstoff erhält. Das ebenfalls über mehrere Syntheseschritte bereitete Claforan zeigt dann bei guter Säurestabilität zusätzlich noch eine geringe Anfälligkeit gegen Penicillinasen.

Die vorgestellten Beispiele zeigen, daß der Naturstoff in keinem Falle den optimalen Wirkstoff repräsentiert und daß erst gezielte und wohlüberlegte chemische Transformationen zu wirklich breit einsetzbaren Substanzen führen. Die aus der Natur isolierte Substanz kann sehr gut die Funktion einer Leitsubstanz übernehmen, die einen wirksamen Strukturtyp offenlegt, der dann aber häufig erst nach erheblichen chemischen Manipulationen die an einen Wirkstoff zu stellenden Anforderungen erfüllt.

Vor dieser Situation sahen wir uns in unserer Arbeitsgruppe, als wir uns vor einigen Jahren mit dem tumorinhibierenden antileukämischen Alkaloid Camptothecin (I) aus

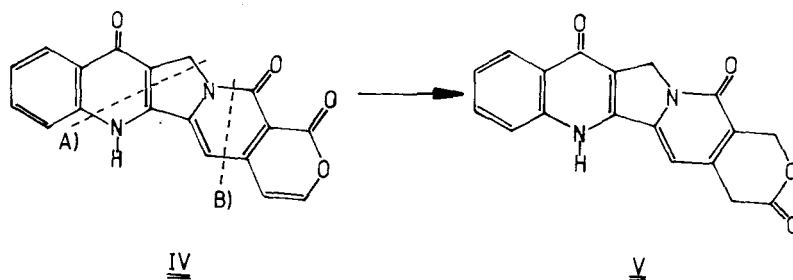


Schema 1

camptotheca acuminata beschäftigten.^{1,2)} Dieser Naturstoff war aus den verschiedensten Gründen eine interessante Herausforderung für den Synthesechemiker. Erstens war er schwer verfügbar, da die Pflanze vor allem in China heimisch, also nicht leicht erreichbar ist. Zweitens repräsentierte dieser Naturstoff einen neuen Heterocyclentyp, der bis dato nicht bekannt war. Drittens spielt die Substanz biogenetisch in der Reihe der Indolalkaloide eine wichtige Rolle, und viertens erwies sie sich rasch als so toxisch und außerdem schwer löslich, daß nur chemisch erzielte Variationen eine Aussicht auf Verwendung als Tumorerhänger haben konnten.

Durch Vorversuche war zu diesem Zeitpunkt auch bereits die Marschrichtung markiert. Es war klar gezeigt worden, daß die tert. Hydroxylgruppe im Lacton ein unverzichtbares Strukturelement ist und daß ebenfalls dem polycyclischen aromatischen System große Bedeutung zukommt. Substitution im Chinolinteil (Pfeile A und B) und Veränderungen der Ethylgruppe indessen mußten als gute Kandidaten für Eigenschaftsverbesserungen angesehen werden. Wir präparierten somit II und III und verbesserten dadurch ohne Verlust der antileukämischen Wirkung die Löslichkeitseigenschaften ganz erheblich. III läßt in dieser Hinsicht keine Wünsche mehr offen. Leider wurde jedoch auch hier noch eine beachtliche Toxizität registriert.

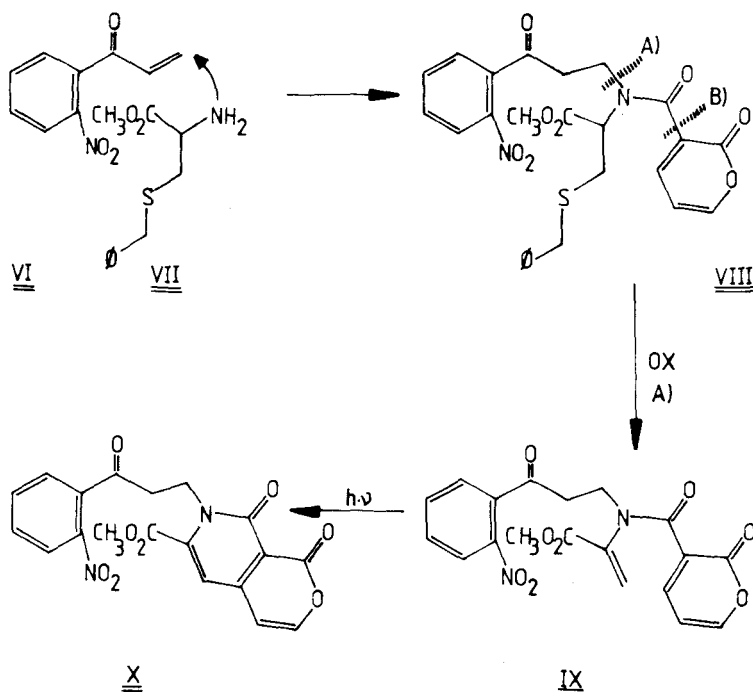
Um nun ein Syntheseverfahren zur Verfügung zu haben, ist hohe konstitutionelle Flexibilität in den Regionen A), B) und C) (s. I) garantiert und somit geeignet sein sollte, viele Variationen mit dem gleichen Verfahren zu erzielen, strebten wir eine Totalsynthese von IV an, das durch einfache



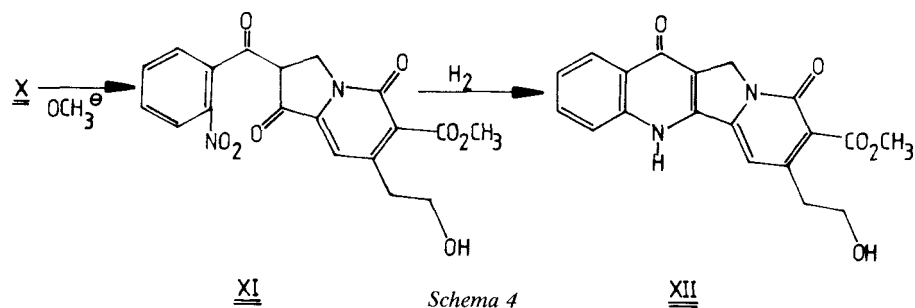
Schema 2

Red-ox-Maßnahmen in V überführbar ist. Um eine Aufteilung in veränderbare und nicht veränderbare Regionen vorzunehmen, liegen wir die Schnittlinien für die retrosynthetische Auftrennung des Moleküls bei A) und B) und wählten die Ausgangsmaterialien entsprechend.

Die Michael-Addition des α,β -ungesättigten Ketons VI an S-Benzyl-cystein-methylester VII erfolgt sehr glatt und stellt darüber hinaus sicher, daß über Substituenten im aromatischen Ring sehr viele Variationen vom Typ A) (s. I) zugänglich werden. Außerdem garantiert die Carbonylgruppe das spätere Durchlaufen eines Chinolons und somit



Schema 3



die Variationsmöglichkeiten vom Typ B) (s. I). Acylierung dieses Michael-Adduktes mit Pyron-Carbonsäurechlorid liefert VIII, in dem bereits alle Kohlenstoffatome des Zielmoleküls vereint sind. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß alle Folgeprozesse intramolekularisiert und somit favorisiert sind.

Oxydation und Eliminierung führen glatt zu IX, das in einer oxydativen Photocyclisierung X liefert.

Bei der anschließenden Diekmann-Cyclisierung wird gleichzeitig der Pyronring geöffnet, so daß bei der Reduktion Chinolonbildung unter Hydrierung des Enols XII entsteht.

Mit einem solchen Verfahren ausgestattet, ist es jetzt möglich, viele Variationen des Naturstoffes zu synthetisieren, um auf diese Weise viele Nachteile, die dem Pflanzeninhaltsstoff innewohnen, durch gezielte Molekulartransformationen zurückzudrängen.

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch

Stellvertreter: Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. Hans Reuther (TU Berlin)

Arndt, Karl, Dr. phil., Prof., Kunstgeschichtliches Seminar der Universität Göttingen,
Hospitalstraße 10, 3400 Göttingen

Bellmann, Friedrich, Dr. phil., Kandelstraße 45, 7830 Emmendingen

Brunius, Teddy, Dr. phil., Prof., Institut für Kunstgeschichte, Universität Kopenhagen,
Esplanaden 34 B, DK-1263 Kopenhagen

Buchthal, Hugo, Dr. phil., Prof., 22, Priory Gardens, Highgate, London N6

Elbern, Victor, H., Dr. phil., Honorar-Prof., Freie Universität Berlin, Ilsestein-
weg 42, 1000 Berlin 38

Habich, Johannes, Dr. phil., Landeskonservator, Am Ludwigsplatz 15, 6600 Saar-
brücken 1

Hamann-Mac-Lean, Richard, Dr. phil., Prof., Niklas-Vogt-Straße 14, 6500 Mainz

Haussherr, Reiner, Dr. phil., Prof., Lehrstuhl für Kunstgeschichte der Freien Univer-
sität Berlin, Motzstraße 16, 1000 Berlin 30

Jacobsen, Werner, Dr. phil., Zentralinstitut für Kunstgeschichte, Meiserstraße 10,
8000 München 2

Klessmann, Rüdiger, Dr. phil., Direktor des Herzog-Anton-Ulrich-Museums,
Museumstraße 1, 3300 Braunschweig

Kötsche, Dietrich, Dr. phil., Staatl. Museen Preußischer Kulturbesitz, Kunstgewerbe-
Museum, Tiergartenstraße 6, 1000 Berlin 30

Kroos, Renate, Dr. phil., Zentralinstitut für Kunstgeschichte, Meiserstraße 10, 8000
München 2

Kurmann, Peter, Dr. phil., Prof., Gutzkowstraße 2, 1000 Berlin 62

Lehmann, Edgar, Dr. phil., Prof., Am Friedrichshain 6 III, DDR-1055 Berlin

Mende, Ursula, Dr. phil., Bibliotheksleiterin, Germanisches Nationalmuseum, Westtor-
graben 9, 8500 Nürnberg 11

Skubiszewski, Piotr, Dr. phil., Prof., Universität Warschau, z. Zt. Centre d'Etudes
Supérieures de Civilisation Médiévale, 24, Rue de la Chaîne, F-86022 Poitiers,
Frankreich

Thies, Harmen, Dr. phil., Dipl.-Ing., Prof., Adolfstraße 55, 3300 Braunschweig

Ullmann, Ernst, Dr. sc., Prof., Fachbereich Kunstwissenschaft der Karl-Marx-Univer-
sität, Karl-Marx-Platz 9, DDR-7010 Leipzig

von Winterfeld, Dethard, Dr. phil., Prof., Kunsthistorisches Institut der Universität
Mainz, 6500 Mainz

Die Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte trat am 9.10.1984 zu ihrer Jahressitzung in Hildesheim zusammen. Anschließend führte sie ein wissenschaftliches Symposium mit dem Thema „Bernwardinische Kunst“ vom 10. bis 13.10.1984 in Hildesheim durch, über das S.E. der Hochw. Bischof von Hildesheim, Dr. Josef Homeyer, die Schirmherrschaft übernommen hatte. Im Rahmen dieses Symposions wurden die folgenden Fachvorträge gehalten:

10. Oktober 1984

Hans Jakob Schuffels, Göttingen

„Bischof Bernward – Kunst und Kanonisation“

Dieter von der Nahmer, Hamburg

„Zur Inschrift auf den Bronzetüren“

Günter Binding, Köln

„Bischof Bernward – Architectus et artifex?“

Harmen Thies, Braunschweig

„Zur Systematik von Grund- und Aufriß von St. Michael“

Hans Reuther, Berlin

„Steinbearbeitung und Steinverband von St. Michael“

Dethard von Winterfeld, Mainz

„Zur Vorgeschichte der Architektur von St. Michael:

Die Stiftskirche von Gernrode im derzeitigen Stand der Forschung“

11. Oktober 1984

Søren Kaspersen, Kopenhagen

„Cotton – Genesis, die Toursbibeln und die Bronzetüren – Vorlage und Aktualität“

Peter C. Clausen, Heidelberg

„Zur Erzählsprache der Bildfelder der Bronzetüren“

Claudia Echinger, Braunschweig

„Zur Sündenfalldarstellung der Krümme des Erkanbald“

Gosbert Schüssler, Regensburg

„Die Krümme des Erkanbald als monastisches Sinnbild“

Michael Brandt, Hildesheim

„Zum ursprünglichen Ort der Bronzetüren“

Joachim Salzwedel, Goslar

„Zum Ringelheimer Bronzekruzifix“

12. Oktober 1984

Peter Lasko, London

„Zum Bernward-Sarkophag“

William Tronzo, Dumbarton Oaks, Washington

„The Purpose of Bernward's Column“

Lieselotte Stamm, Basel

„Programmatischer Anspruch und künstlerische Verwirklichung des Vorbildes bei Bernward“

Jane Rosenthal, New York

„Angelsächsische Einflüsse auf die Bernwardinische Buchmalerei“

Gerd Bauer, Bonn

„Neue Bernwardhandschriften und die Regensburger Komponente in der Hildesheimer Buchmalerei“

Rainer Kahsnitz, Nürnberg

„Die Bernwardsbibel (Domschatz Ms. 61) und ihr Titelbild“

William Melzer, New York

„Bernward von Hildesheim und die Entwicklung der westlichen Ikonographie des Lebens Christi (Evangeliar Domschatz No. 18)

Victor H. Elbern, Berlin

„Über die Kunsttätigkeit in Hildesheim vor Bernward“

13. Oktober 1984

Besichtigung des Domschatzes und der Hl. Kreuzkirche sowie Diskussion über die Architekturreferate

Außerdem wurde im Rahmen des Symposions eine öffentliche Veranstaltung im Hildesheimer Rathaus durchgeführt mit einem Vortrag von Prof. Dr. Martin Gosebruch: „Bischof Bernward – Allen war er alles“.

Die Vorträge des Symposions werden als Band 3 der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft veröffentlicht.

Öffentliche Veranstaltungen

11. 5. 1984 in Braunschweig

Forschungsprobleme an Heterostrukturen zwischen polaren und nichtpolaren Halbleitern

Von **Herbert Kroemer**, Department of Electrical and Computer Engineering,
University of California, Santa Barbara, California, USA

Einleitung: Das Problem

Unter Heterostrukturen versteht der Halbleiterphysiker Strukturen, die im Idealfalle kristallographisch einkristallin sind, mit einem ungestörten periodischen Kristallgitter für die Atomplätze, in denen sich aber die **Besetzung** der Gitterplätze innerhalb der Struktur von den Atomen eines Halbleiters zu denen eines anderen ändert, ohne daß dabei die Periodizität der Gitterplätze selbst zerstört wird. Dazu ist es natürlich notwendig, daß die beteiligten Halbleiter nahezu dieselben inter-atomaren Abstände haben. Es gibt eine ganze Reihe von solchen gitter-angepaßten Halbleiterpaaren; das zur Zeit in der Praxis wichtigste ist das Paar GaAs/AlAs, welches seit ca. 1970 eine zunehmende Rolle in der Entwicklung neuer elektronischer Bauelemente erlangt hat, besonders des Halbleiter-Lasers. Andere Heterostruktur-Bauelemente befinden sich in der Entwicklung, und es ist die Erwartung vieler auf diesem Gebiet arbeitender, daß die Zukunft derjenigen Bauelemente, die nicht auf Silizium beruhen, von Heterostrukturen dominiert wird [1, 2].

Es ist nützlich, das allgemeine Prinzip zu verstehen, auf Grund dessen Heterostrukturen für zukünftige Halbleiter-Bauelemente so wichtig sein dürften. Der Grund dafür ist im Wesentlichen der Folgende. An der Hetero-Grenzfläche sind sowohl die Valenz- als auch die Leitungsbänder der beiden Halbleiter gegeneinander verschoben. Abbildung 1 zeigt die drei möglichen Arten von gegenseitiger Band-Verschiebung; das GaAs/AlAs-System ist von der links gezeigten Art. Die durch die Verschiebung entstandenen Bandstufen verhalten sich nun genau wie elektrostatische Potentialstufen, aber mit dem wesentlichen Unterschied, daß sowohl die Höhen als selbst die Vorzeichen dieser „quasi-elektrischen“ Potentialstufen für die Elektronen und die Löcher verschieden sein können. Das bedeutet aber, daß ein neuer Freiheitsgrad vorliegt, der es ermöglicht, die Verteilung und den Transport beider Ladungsträger auf eine neue Art und Weise zu kontrollieren, die mit rein elektrostatischen Potentialen grundsätzlich nicht erreichbar ist. Zum Beispiel bei dem links in Abbildung 1 gezeigten Banddiagramm wirken die den Bandstufen entsprechenden Kräfte auf die negativ geladenen Elektronen und auf die positiv geladenen Löcher in derselben Richtung (nach rechts), was mit rein elektrostatischen Kräften unmöglich ist. Der Halbleiter-Laser funktioniert mittels dieser gleichgerichteten Kräfte! Praktisch alle Heterostruktur-Bauelemente nutzen die Bandstufen auf die eine oder andere Art, manch-

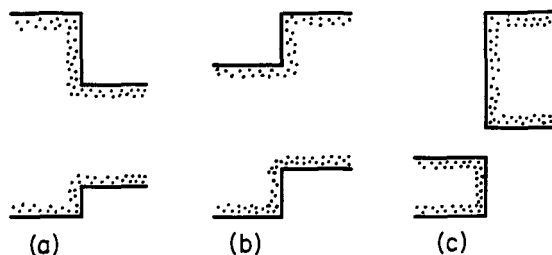


Abbildung 1:

Die drei verschiedenen möglichen relativen Lagen der Energiebänder an einem abrupten Hetero-Übergang zwischen zwei verschiedenen Halbleitern.

mal, um auf Elektronen und Löcher getrennt einwirken zu können, manchmal, um Kräfte auf Elektronen allein auszuüben, die den vorhandenen elektrostatischen Feldern entgegengesetzt gerichtet sind.

Zusätzliche Halbleiterpaare werden in der weiteren Entwicklung von Heterostruktur-Bauelementen eine ebenso starke Rolle spielen wie GaAs/AlAs, und eines der Forschungsprobleme auf diesem Gebiet befaßt sich mit der Frage, wie sehr voneinander verschieden die beiden Halbleiter sein können. Insbesondere besteht ein großes Interesse daran, einen der III/V-Verbindungshalbleiter mit einem der Elementarhalbleiter zu kombinieren, besonders mit Silizium, welches ja der bei weitem wichtigste Halbleiter überhaupt ist. Von den III/V-Verbindungen ist nur GaP dem Si gut gitter-angepaßt, und wir haben daher in unserer Forschungsgruppe in Santa Barbara das Aufwachsen von GaP auf Si mittels Molekularstrahl-Epitaxie (MBE = Molecular Beam Epitaxy) eingehend untersucht [3, 4].

Wenn man über die Probleme nachdenkt, die beim einkristallinen Aufwachsen eines (polaren) Verbindungshalbleiters wie GaP auf einen (nichtpolaren) Elementarhalbleiter wie Si zu erwarten sind, so erkennt man rasch das folgende zentrale Problem. Das Si und das GaP kristallisieren beide in derselben Diamant-Zinkblende-Struktur, in der die kristallographische Primitivzelle zwei Atome enthält. Aber während diese Atome im Si identisch sind, sind sie im GaP verschieden. Für eine defektfreie GaP-Schicht ist es notwendig, daß die Verteilung von Ga- und P-Atomen auf die Gitterplätze völlig regelmäßig ist. Zum Beispiel müßten in Abbildung 2 alle „weißen“ Gitterplätze mit Ga-Atomen und alle „schwarzen“ Plätze mit P-Atomen besetzt werden. Die entgegengesetzte Besetzung wäre genauso zulässig, aber was um jeden Preis vermieden werden muß, ist ein hin-und-her-Schwanken zwischen diesen beiden erlaubten Strukturen, wie es z. B. in Abbildung 3 für eine Grenzfläche mit der kristallographischen (110)-Orientierung gezeigt ist. Eine solche Mischung würde als **Anti-phasenstruktur** bezeichnet, und die sogenannten **Antiphasengrenzen**, entlang derer die Bereiche umgekehrter Platzbesetzung zusammenstoßen, stellen nicht-akzeptierbare elektronische Störstellen dar. Die Kernfrage ist dann ganz einfach diese: Woher wissen die Ga- und P-Atome der ersten zwei oder drei Atomschichten (auf die es allein ankommt), welche Gitterplätze auf der Si-Oberfläche die Natur für welche

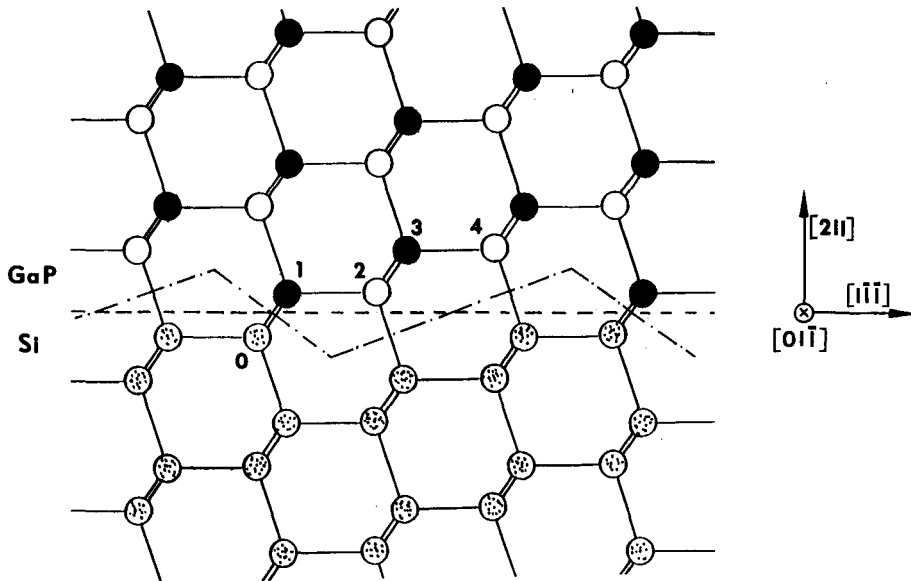


Abbildung 2:

Querschnitt durch eine hypothetische Grenzfläche zwischen einem Silizium-Substrat (unten) und einer aufgewachsenen Gallium-Phosphid-Schicht (oben). Die gezeigte Atomanordnung ist die einer idealen Grenzfläche mit der kristallographischen (211)-Orientierung.

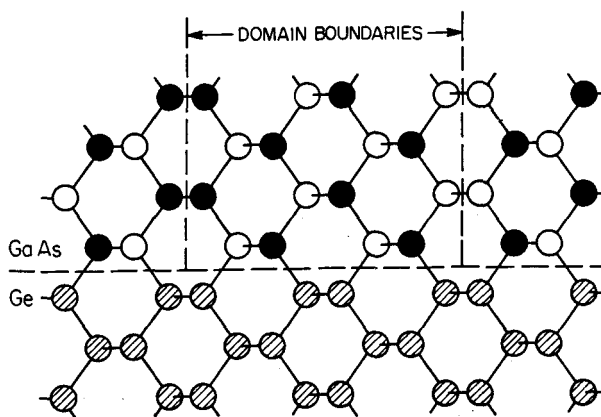


Abbildung 3:

Antiphasenstruktur beim Aufwachsen von GaAs auf eine Ge-Oberfläche mit der kristallographischen (110)-Orientierung (nach Kroemer [2]). Dieselbe Situation liegt bei GaP/Si (110) vor.

Atomart vorgesehen hat? In Abbildung 3 fehlt diese Information; alle noch unbesetzten Oberflächenplätze sind von völlig gleicher Struktur, und es gibt keinen Grund, warum die P-Atome (oder As-Atome) die schwarzen Gitterplätze bevorzugen sollten, und die Ga-Atome die weißen – oder umgekehrt.

Unsere Forschungen haben ergeben, daß die atomare Struktur und Perfektion des polar-auf-nichtpolaren Kristallwachstums ganz entscheidend von der kristallographischen Orientierung und der genauen Atomanordnung der ursprünglichen Kristalloberfläche abhängt, und daß auf der bisher bei weitem am meisten verwendeten (100)-Orientierung (Abbildung 4) ein antiphasen-freies Wachstum in der Tat nicht möglich ist: Auf jeder realen solchen Oberfläche treten immer völlig unvermeidbare atomare Stufen auf, und es läßt sich zeigen [5], daß auf der (100)-Oberfläche diese Stufen zu einer ähnlichen Antiphasenstruktur führen, wie sie in Abbildung 3 für die (110)-Oberfläche gezeigt waren. Das erklärt sofort das völlige Fehlschlagen früherer Versuche, gutes Wachstum von GaP-auf-Si oder GaAs-auf-Ge zu erreichen, fast alles Versuche, die mit der (100)-Orientierung gearbeitet hatten. Es ist notwendig, eine andere Kristallorientierung zu finden, die eine ganze Reihe erst von uns neu-erkannter Bedingungen erfüllt [2–4].

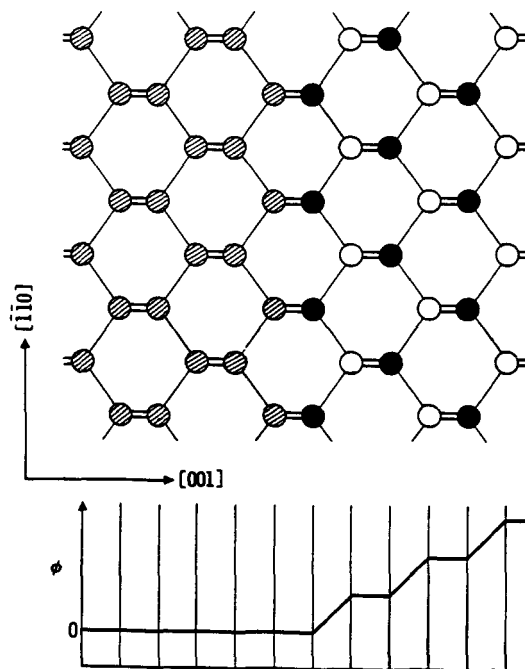


Abbildung 4:

Alternierende P/Ga-Atomlagen bei einer (100)-orientierten GaP/Si- oder GaAs/Ge-Hetero-Grenzfläche, zusammen mit dem elektrostatischen Potentialverlauf, der einer endlichen Grenzflächenladung entspricht. Nach Harrison et al. [6].

Die wichtigste und am leichtesten zu erkennende Bedingung ist das Vorhandensein – auf dieser Oberfläche – von zwei verschiedenen Arten von noch-unbesetzten Gitterplätzen, die mit völlig verschiedener Stärke an die unterliegende Si-Oberfläche gebunden sind. Es stellt sich dann heraus [3], daß die P-Atome, die im Gegensatz zu Ga-Atomen dazu imstande sind, mit Si-Atomen starke Bindungen einzugehen, automatisch die stärker gebundenen neuen Plätze besetzen. Die Ga-Atome werden auf die schwächer gebundenen Plätze verdrängt.

Die nächste Bedingung, die erfüllt werden muß, ist weniger offensichtlich: Die aufeinander folgenden Atomschichten auf der GaP-Seite dürfen nicht von alternierender Struktur sein, also nicht alternierende Ga- und P-Schichten sein, wie z. B. bei der in Abbildung 4 gezeigten (100)-Orientierung. Sie müssen vielmehr alle eine identische Struktur haben. Das hat zwei Gründe: Einmal verhindert es, daß atomare Stufen in der ursprünglichen Oberfläche, die immer vorhanden sind, zur Bildung von Antiphasen-Strukturen führen, wie sie bei der alternierenden (100)-Struktur tatsächlich beobachtet wurden [5]. Zum anderen erzwingt diese Bedingung es, daß jede Atomschicht automatisch die gleiche Anzahl von Ga- und P-Atomen enthält und damit automatisch als Ganzes elektrisch neutral ist (die Ga- und P-Atome sind ja entgegengesetzt geladen). Das Letztere ist wichtig, weil es sich herausgestellt hat [6], daß bei einer nicht-neutralen ersten GaP-Atomschicht sehr starke innere Kristallfelder an der Si/GaP-Grenzfläche vorliegen würden (ca. 40 Millionen Volt/cm, siehe Abbildung 4). Das würde zu einer Wanderung der Atome während des Kristallwachstums führen, welches ja bei hoher Temperatur stattfindet, bei welcher die Atome beweglich sind. Damit entstehen Kristall-Baufehler, die in einer elektronischen Halbleiterstruktur um jeden Preis vermieden werden müssen. Außerdem zeigt es sich, daß in dem Maße, in dem dieses innere Feld durch Atom-Umlagerung nicht abgebaut wird, ein in der Praxis unkontrollierbares Restfeld übrigbleibt, welches, je nach Vorzeichen, freie Elektronen oder Löcher anzieht und damit zu einer unkontrollierbaren hohen, und meist unerwünschten, Leitfähigkeit entlang der Grenzfläche führt. Die (111)-Orientierung ist eine der vielen Kristall-Orientierungen – zusätzlich zur (100)-Orientierung –, die diese elektrische Neutralitätsbedingung verletzt [6].

Die (211)-Orientierung

Die einfachste kristallographische Orientierung, die beide der oben erklärten Forderungen erfüllt, ist die bisher in der Kristallwachstumspraxis fast nie benutzte sogenannte (211)-Orientierung. Abbildung 2 stellte bereits einen Querschnitt durch eine (211)-Grenzfläche dar. Man sieht sofort, daß sie in der Tat beide Forderungen erfüllt: Die an der Grenzfläche gelegenen „schwarzen“ Gitterplätze haben offensichtlich zwei Bindungen zur darunter liegenden Si-Oberfläche und sind damit stärker an diese Oberfläche gebunden als die „weißen“ Gitterplätze mit nur einer Bindung. Außerdem hat ebenso offensichtlich jede Atomebene auf der GaP-Seite dieselbe innere Struktur; der einzige Unterschied ist eine irrelevante horizontale Verschiebung aufeinander folgender Ebenen relativ zueinander.

Es ist uns in der Tat gelungen, mit dieser Kristall-Orientierung GaP/Si-Heterostrukturen mit ausgezeichneter Qualität sowohl der Grenzfläche als auch des GaP selbst zu erreichen. Das einzige Restproblem, das noch gelöst werden mußte, war es, zu verhindern, daß die P-Atome sowohl die schwarzen als auch die weißen Gitterplätze besetzen, was zur Bildung eines der verschiedenen Siliziumphosphide geführt hätte. Dies wurde auf folgende Art vermieden. Die MBE-Technologie ist eine Hochvakuum-Technologie, in der die verschiedenen Bestandteile des Kristalls als Atom- oder Molekularstrahlen dem wachsenden Kristall zugeführt werden [7]. In der von uns entwickelten Technik wird zu Anfang des Wachstums etwas mehr als eine halbe Atomschicht reinen Galliums, ohne Phosphor, auf dem zur korrekten Wachstumstemperatur (580°C) erhitzten Kristall niedergeschlagen. Diese Ga-Atome werden anschließend durch die P-Atome von den doppelt-gebundenen schwarzen Gitterplätzen verdrängt. Aber sowie ein P-Atom auf einem dieser Plätze gebunden ist (z. B. auf Platz Nr. 1 in Abbildung 2), wird der benachbarte einfach gebundene weiße Gitterplatz (Nr. 2 in Abbildung 2) ein stabiler Bindungsplatz für ein Ga-Atom, und da ein großer Vorrat von Ga-Atomen bereitgehalten wird, findet eine solche Ga-Bindung auch rasch statt. Sowie aber die Atomreihe Nr. 2 mit Ga-Atomen aufgefüllt wird, regenerieren sich, in Atomreihe Nr. 3, neue Bindungsplätze für P-Atome. Auf diese Weise liegt immer eine ausreichende Zahl von doppelt gebundenen neuen Gitterplätzen für die neu eintreffenden P-Atome vor, und es bleibt für die P-Atome energetisch unvorteilhaft, die Ga-Atome aus Atomreihe Nr. 1 zu verdrängen. Wenn rechtzeitig Ga-Atome in der richtigen Menge nachgeliefert werden, wiederholt sich das Spiel von Atomreihe Nr. 2 in Atomreihe Nr. 4, und wenn schließlich die Atomebene oberhalb Reihe Nr. 4 voll aufgefüllt ist, handelt es sich beim weiteren Kristallwachstum einfach um das von GaP auf sich selbst, und die Probleme der GaP/Si-Grenzfläche liegen nicht mehr vor.

Die rechtzeitige Nachlieferung der richtig bemessenen Menge von Ga-Atomen wird leicht auf folgende Weise erreicht. Die erste Lage von Ga-Atomen wird bei einer noch kalten Phosphor-Molekularstrahlquelle, also ohne Phosphorstrahl, aufgebracht. Erst nach Aufbringen der ersten Ga-Lage wird die Heizung der Phosphorquelle eingeschaltet. Der P-Strahl ist also anfänglich noch sehr schwach und erhöht sich erst während des Wachstums der ersten paar Atomlagen langsam auf seinen Endwert. Die erste Atomlage wächst also sehr langsam. Da nun die MBE-Technologie eine Hochvakuum-Technologie ist, ist es möglich, die Kristall-Oberfläche während ihres eigenen Wachstums durch Elektronenbeugung zu beobachten. Das Beugungsbild hängt stark vom Ga:P-Atomverhältnis in der obersten Atomebene ab, und mit einiger Übung erkennt man sowohl den Zeitpunkt, wenn eine Ga-Nachlieferung notwendig wird, als auch anschließend, wenn eine hinreichende Menge von Ga-Atomen erreicht ist und die Ga-Zufuhr wieder gestoppt werden muß. Dieses Spiel wiederholt sich bei den folgenden Atomlagen, aber mit immer kürzeren Zeitabständen, weil sich während dieser Zeit die Temperatur der Phosphorquelle und damit die Intensität des Phosphorstrahles erhöht. Die Erhöhungsrate wird so eingestellt, daß der Endwert nach etwa vier bis sechs Atomlagen erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt liegt die GaP/Si-

Grenzfläche völlig innerhalb des Kristalls, und alle ursprünglich vorhandenen Silizium-Oberflächen-Bindungen sind mit der korrekten Atomart abgesättigt. Von dann an bleibt der Verschluß des Galliumstrahles einfach offen. Die Intensität des Phosphorstrahls ist nicht kritisch, solange sie etwas größer als die des Ga-Strahles ist: Überschüssiger Phosphor verdampft einfach; man verwendet bewußt einen Überschuß zwischen 2:1 und 3:1.

Auf diese Weise war es uns möglich, GaP/Si-Heterostrukturen mit guten Eigenschaften sowohl der GaP-Schichten als besonders auch der Grenzflächen zum ersten Male herzustellen. Die Qualität ist noch nicht so hoch wie bei dem viel einfacheren System AlAs/GaAs, aber sie ist bereits ausreichend für experimentelle elektronische Bauelemente. Einfache pn-Übergänge zeigen gute Strom/Spannungs-Kennlinien und oft eine mit den besten Silizium-Solarzellen vergleichbare Lichtempfindlichkeit. Vor allem aber ist es gelungen, Bipolar-Transistoren mit einem GaP-Emitter auf einer Si-Basis/Kollektor-Struktur herzustellen. Die Stromverstärkung dieser ersten Transistoren (< 10) liegt noch weit unter der von reinen Silizium-Transistoren, aber diese Messungen wurden 1981/82 durchgeführt, und in der Zwischenzeit hat sich die Wachstumstechnologie ganz wesentlich verbessert. Wir rechnen daher damit, daß bei einer Wiederaufnahme von Versuchen, Transistoren herzustellen, mit Si-Transistoren vergleichbare Stromverstärkungsfaktoren erreichbar sind.

Es wäre jedoch verkehrt, das Erreichte sowie den Zweck dieser ganzen Forschung als einen Versuch anzusehen, mit der Silizium-Technologie zu konkurrieren. Das ist es nicht: Was immer mit Silizium gebaut werden kann, wird ganz sicher auch weiter mit Silizium gebaut werden! Vielmehr war und ist es der Zweck dieser Arbeiten, die Grenzen der neuen epitaxialen Technologien selbst zu erforschen, besonders der Molekularstrahl-Epitaxie. Das Wichtige am speziellen System GaP/Si ist nicht das Si-Substrat, sondern die Tatsache, daß es ein polar-auf-nichtpolares System ist, die schwierigste Art von Epitaxialsystem. Daher auch der Titel meines Vortrages. Die Auswahl eines solchen Systems hat uns dazu gezwungen, uns zum ersten Male detaillierte Vorstellungen über die Rolle der verschiedenen chemischen Bindungen und der kristallographischen Orientierung beim Wachstum zu machen. Das aber war ein entscheidender Schritt über die bisher vorherrschende Behandlung der Molekularstrahl-epitaxie als einer verfeinerten Hochvakuum-Aufdampftechnik, die im wesentlichen weiter rein phänomenologisch-empirisch verstanden wurde. Insbesondere blieb die Wahl der Kristallorientierung bisher eine praktische Frage statt einer Grundlagenfrage. In dieser Hinsicht beeinflussen unsere Forschungsergebnisse am GaP/Si-System bereits heute die MBE-Technologie allgemein, einschließlich der AlAs/GaAs-MBE-Technologie.

Die Funktion der im Rahmen dieser Forschung hergestellten elektronischen Bauelemente ist nicht die Konkurrenz mit anderen Bauelementen; sie dienen vielmehr als unübertreffliche diagnostische Hilfsmittel, welche uns empfindlicher als jede andere Messung zeigen, wie weit wir auf diesem Wege vorangekommen sind.

Weiterentwicklungen für die Zukunft: „Winkel-Dotierung“ und „Quanten-Röhren“

In unseren obigen Überlegungen spielte die kristallographische Orientierung der Hetero-Grenzfläche eine zentrale Rolle, und ich wies darauf hin, daß diese Grenzfläche nur für bestimmte Orientierungen elektrisch neutral sein kann. Die Frage taucht dann automatisch auf, was denn passiert, wenn die tatsächliche Orientierung etwas von diesem Idealfalle abweicht, selbst wenn es sich nur um den Bruchteil eines Grades handelt. Im Grunde ist das ja unvermeidbar, schon deshalb weil es unmöglich ist, die ursprüngliche Siliziumoberfläche mit mathematisch exakter Orientierung herzustellen. Man kann sich dann davon überzeugen, daß eine solche nicht-ideale Grenzfläche elektrisch geladen sein muß mit einer mittleren Ladungsdichte, die für hinreichend kleine Neigungswinkel proportional zu diesem Winkel ist. Abbildung 5 zeigt als Beispiel den Querschnitt durch einen Hetero-Übergang, dessen Orientierung rela-

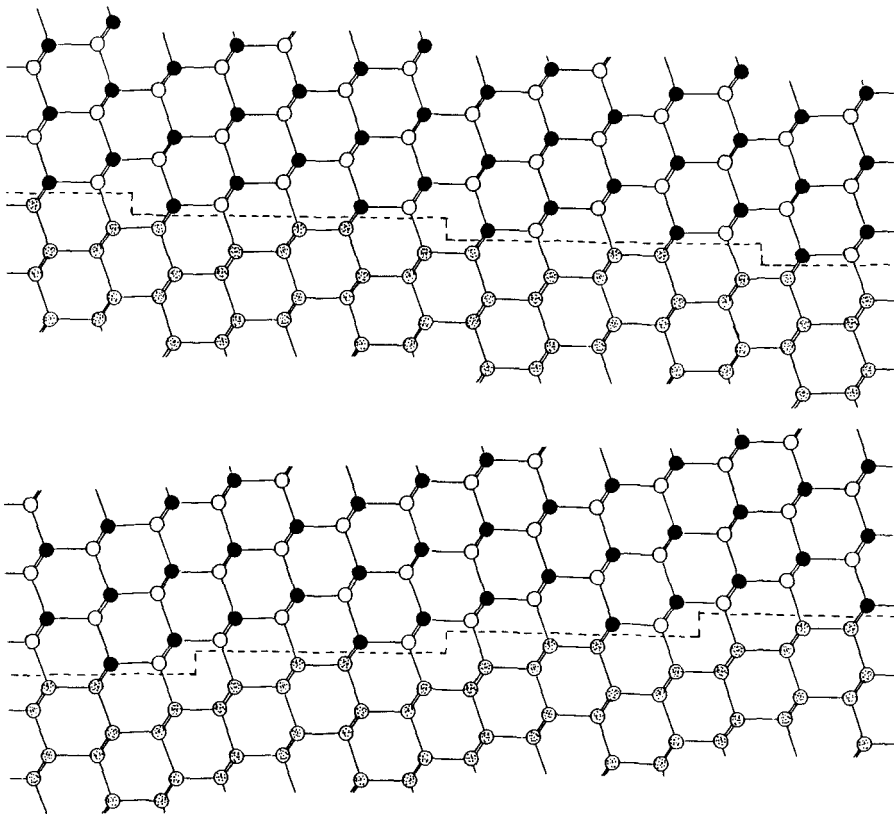


Abbildung 5:
Die Atomanordnung an einer GaP/Si-Grenzfläche, deren Orientierung relativ zur idealen (111)-Orientierung etwas geneigt ist.

tiv zur exakten (211)-Orientierung etwas geneigt ist. Man sieht dann, daß die „chemische“ Grenzfläche, die im Bild gestrichelt gezeichnet ist, nicht eine Ebene ist, sondern Stufen besitzt. Wenn der Neigungswinkel hinreichend klein ist, sind die Stufen durch breite Streifen getrennt, innerhalb derer die chemische Grenze mit einer kristallographischen (211)-Ebene zusammenfällt. Diese Streifen sind dann wieder elektrisch neutral. Aber wenn man sowohl die Ionenrümpfladungen und die Elektronen in den Bindungen abzählt, findet man, daß die Stufen selbst geladen sein müssen. Und zwar sind in der oberen Hälfte des Bildes die Stufen positiv geladen, das heißt, sie sind **Donator-Stufen**, während sie in der unteren Hälfte des Bildes negativ geladene **Akzeptor-Stufen** sind.

Wir haben also hier eine neue Möglichkeit, Dotierungen in einen Hetero-Übergang einzubauen, die in zukünftigen Bauelementen von Bedeutung sein könnte, und die ich als „**Winkel-Dotierung**“ bezeichnen möchte. Die möglichen Dotierungswerte sind hoch: Für einen Neigungswinkel von nur 0,01 Radian (ca. $0,5^\circ$) findet man eine Flächendichte von etwa 6×10^{12} pro cm^2 , für kleinere Winkel proportional weniger.

Wenn nur relativ geringe Grenzflächenladungen erwünscht sind, hat diese hohe Winkelempfindlichkeit natürlich den Nachteil, daß der Einbau solcher Ladungen eine viel genauere Orientierung der Kristallscheiben erfordert, als das gegenwärtig praktisch ist. Andererseits macht die hohe erreichbare Grenzflächendotierung neue Bauelement-Strukturen möglich, die sich durch konventionelle Dotierung mit Fremdatomen einfach nicht herstellen lassen. Wir haben also hier ein erstes Beispiel neuer Möglichkeiten, die sich speziell für polar/nichtpolare Systeme wie GaP/Si eröffnen. Im Moment ist das noch reine Spekulation; erst die Zukunft wird zeigen, was daraus werden wird.

Eine noch viel interessantere Spekulation eröffnet sich, wenn man die räumliche Verteilung der Grenzflächenladungen näher betrachtet. Da diese Ladungen mit den chemischen Stufen in Abbildung 5 verbunden sind, haben wir eine Ladungsverteilung in der Form von **Ladungslinien** statt der statistischen Verteilung über die gesamte Grenzfläche, die für chemische Dotierung mit Fremdatomen charakteristisch wäre. Die Ladungsdichte entlang der Linien ist hoch, man findet einen Abstand zwischen den Ladungen von $a \times \sqrt{8} = 1,54$ nm, unabhängig vom Neigungswinkel θ . Hier ist $a = 0,54$ nm die Gitterkonstante des Si. Der Abstand zwischen den Stufen ist

$$D = a / (2\sqrt{6} \times \sin \theta),$$

Für unser früheres Beispiel $\theta = 0,01$ Radian erhält man $D = 11$ nm, ein Abstand, der viel größer ist als der Abstand zwischen den Ladungen entlang der Stufen, und der mit abnehmendem Neigungswinkel weiter ansteigt. Das bedeutet ganz sicher eine hohe Anisotropie der Leitungseigenschaften parallel zu einer solchen Grenzfläche, mit einer sehr hohen Leitfähigkeit entlang der Stufen und einer mit abnehmendem Neigungswinkel rasch abnehmenden Leitfähigkeit senkrecht dazu.

Die Sache wird besonders interessant, wenn beide umgebenden Halbleiter mit einem der Stufe entgegengesetzten Leitungstyp dotiert werden. Wenn die Stufen hinreichend weit voneinander getrennt sind, verhält sich dann jede Stufe wie ein röhren-

förmiger pn-Übergang, der von den anderen pn-Röhren elektrisch isoliert ist. Wenn obendrein die Dotierung des umgebenden Halbleiters hinreichend hoch ist, dann wird der innere Durchmesser dieser pn-Röhren so klein, daß die Transversalbewegung der Elektronen innerhalb der Röhre stark quantisiert ist. Im energetisch niedrigsten Quantenzustand ist die Transversalbewegung exakt null, und wenn der nächsthöhere Quantenzustand hinreichend hoch liegt und daher nicht besetzt ist, dann verhält sich jede der Röhren wie ein echt eindimensionaler Leiter, in dem nicht nur der Gesamtstrom parallel zum Leiter fließt, sondern in dem selbst die innere hin-und-her-Bewegung der Elektronen völlig verschwunden ist.

Die Physik eindimensionaler Leiter ist wesentlich verschieden von der selbst des dünnsten dreidimensionalen Leiters, und die Suche nach eindimensionalen Leitern ist eines der aktivsten Gebiete der modernen Festkörperforschung [8].

Eine der Vorhersagen der Theorie – wohl die sicherste von allen – ist eine wesentlich höhere Elektronenbeweglichkeit entlang eines eindimensionalen Leiters als in dreidimensionalen Leitern [9]. Sie kommt dadurch zustande, daß eine elastische seitliche Elektronenstreuung nicht mehr möglich ist, und daß ein Elektron seine Vorwärts-Geschwindigkeit nur durch inelastische Vorwärts-Streuung oder durch Rückwärts-Streuung verlieren kann. Bei hoher Elektronen-Dichte, wie in unserem Falle, ist aber der Leiter entartet, besonders bei tiefer Temperatur, was bedeutet, daß die meisten Endzustände für inelastische Streuung bereits besetzt sind, und daß für Rückwärts-Streuung ein sehr hoher Streuimpuls erforderlich ist, der eine geringe Wahrscheinlichkeit hat. Eine hohe Beweglichkeit wäre natürlich für zukünftige elektronische Bauelemente höchst interessant.

Eine exotischere und damit etwas spekulativere Vorhersage ist ein sogenannter **Peierls-Übergang**, bei dem unterhalb einer bestimmten Temperatur die Leitfähigkeit abrupt verschwindet [10]. Ein solcher Übergang ist in gewissen anderen eindimensionalen Leitern – meistens organische Leiter – bereits gefunden worden, und es wäre äußerst wertvoll, wenn solche oder ähnliche Effekte auch in den Heterostrukturen aus konventionellen Halbleitern erzeugt werden könnten.

Es gibt sogar Spekulationen, daß unter gewissen, bisher nicht erreichten Bedingungen in eindimensionalen Leitern auch der entgegengesetzte Effekt eintreten könnte, nämlich Supraleitung bei höheren Temperaturen als in Metallen [10]. Ich nenne das bewußt Spekulationen, denn es wäre unverantwortlich, zu behaupten, daß solche Supraleitung in unseren Quantenröhren zu erwarten sei. Mein Zweck war es vielmehr, zu zeigen, daß auf jeden Fall ein Reichtum an neuen Phänomenen und Erkenntnissen von dieser neuen Forschungsrichtung erwartet werden kann.

Das bringt mich zum Ende meines Vortrages. Wie Sie wohl alle wissen, erhält die heutige angewandte Halbleiter-Elektronik ständig neue Impulse aus der reinen Festkörperphysik, aus der sie letztlich selbst entsprungen ist. Aber die reine Festkörperphysik hat auch stets ihrerseits starke Forschungsanregungen von den elektronischen Anwendungen erhalten; dieses ständige Wechselspiel ist ganz charakteristisch für das gesamte Halbleitergebiet. Das Problem der polar/nichtpolaren Heterostrukturen ist ein gutes Beispiel für dieses Wechselspiel.

Literaturverzeichnis

- [1] H. KROEMER, „Heterostructure bipolar transistors and integrated circuits“, *Proc. IEEE* 70, 13–25 (1982).
- [2] H. KROEMER, „Heterostructure devices: A device physicist looks at interfaces“, *Surf. Sci.* 132, 543–576 (1983).
- [3] S.L. WRIGHT, M. INADA, H. KROEMER, „Polar-on-nonpolar epitaxy: Sublattice ordering in the nucleation and growth of GaP on Si (211) surfaces“, *J. Vac. Sci. Technol.* 21, 543–539 (1982).
- [4] S.L. WRIGHT, H. KROEMER, M. INADA, „Molecular-beam epitaxial growth of GaP on Si“, *J. Appl. Phys.* 55, 2916–2927 (1984).
- [5] J.H. NEAVE, P.K. LARSEN, B.A. JOYCE, J.P. GOWERS, J.F. VAN DER VEEN, „Some observations on Ge:GaAs (001) and GaAs:Ge (001) interfaces and films“, *J. Vac. Sci. Technol. B* 1, 668–674 (1983).
- [6] W.A. HARRISON, E.A. KRAUT, J.R. WALDROP, R.W. GRANT, „Polar hetero-junction interfaces“, *Phys. Rev. B* 18, 4402 (1978).
- [7] Für zwei Übersichts-Artikel zum Thema Molekularstrahlepitaxie siehe: A.Y. CHO und J.R. ARTHUR, „Molecular beam epitaxy“, *Prog. Solid State Chem.* 10 (Teil 3), 157–191 (1975); K. PLOOG, „Molecular beam epitaxy of III/V compounds“, in H.C. Freyhardt (Editor), **Crystals: Growth, Properties, and Applications**, Springer-Verlag 1980, Bd. 3, 73–162.
- [8] Dem Gebiet fehlt eine für den Neuling verständliche Zusammenfassung, die auch neuere Entwicklungen berücksichtigt. Eine der besten Einführungen ist H.G. Schuster's 12 Jahre alte „Introduction and Survey“ in dem von ihm editierten Tagungs-Band **One-Dimensional Conductors**, Bd. 34 der **Lecture Notes in Physics**, Springer-Verlag 1975.
Nützliche ähnliche Tagungsbände neueren Datums sind H.J. Keller (Editor), **Chemistry and Physics of One-Dimensional Metals**, Plenum Press 1977, sowie J. Bernasconi und T. Schneider (Editoren), **Physics in One Dimension**, Springer-Verlag 1981.
- [9] H. SAKAKI, „Scattering suppression and high-mobility effect of size-quantized electrons in ultrafine semiconductor wire structures“, *Japan. J. Appl. Phys.* 19, L735–L738 (1980).
- [10] Siehe wiederum die unter [8] angegebenen Quellen, die detaillierte Zitate der Originalarbeiten enthalten.

11.5.1984 Braunschweig

Regelungstechnik zwischen Mikro- und Makroelektronik

Von **Werner Leonhard**, Braunschweig

Einleitung

Der heutige Tag steht im Zeichen der Halbleitertechnik, die sich als ein autonomer Bereich zwischen den in der Elektrotechnik vorher dominierenden Gebieten der elektrischen Leiter und Isolatoren etabliert hat. Das Besondere an Halbleiter-Bauteilen ist, daß sie elektronisch, d. h. sehr schnell, fast leistungslos und verschleißfrei steuerbar sind, wobei sie ihren elektrischen Widerstand um bis zu 8 Größenordnungen verändern, also wahlweise einen Nichtleiter und einen Leiter darstellen können. Halbleiterbauelemente sind deshalb äußerst vielseitig verwendbar, die Elektronikindustrie gilt inzwischen als die bedeutendste Wachstumsindustrie der 80er Jahre mit Ausstrahlungen in alle Gebiete der Technik. Angesichts der zu überwindenden physikalischen und technologischen Probleme wird der Stand der Halbleiter-Industrie manchmal als repräsentativ für den gesamten technischen Stand eines Industrielandes angesehen. Dies ist sicher eine einseitige Betrachtungsweise, hinter der man auch wirtschaftspsychologische Suggestion vermuten kann, doch hat die Sorge, hier gegenüber Amerika und Japan auf Dauer zurückzufallen, inzwischen auch in den klassischen europäischen Industrieländern zur Entfaltung ungeahnter Energien geführt, mit dem Ziel, den wirklichen und vermeintlichen Rückstand aufzuholen.

Da die Vorträge des heutigen Tages im wesentlichen die physikalischen Grundlagen der Halbleitertechnik betreffen, erschien es sinnvoll, in einem ergänzenden Bericht auch Anwendungen der Halbleitertechnik zu behandeln; die Regelungstechnik ist dafür besonders geeignet, da sie im Schnittpunkt von Mikroelektronik und Leistungselektronik, den beiden Hauptlinien der Halbleitertechnik, steht, so daß sie von deren Entwicklung unmittelbar betroffen ist.

1. Was ist Regelungstechnik?

Aufgabe der Regelungstechnik ist es bekanntlich, technische Abläufe so zu steuern, daß bestimmte Zielgrößen (Regelgrößen) an vorgegebene Sollverläufe (Führungsgrößen) angeglichen werden. Dies ist notwendig, um die Einflüsse von nicht kontrollierbaren Störgrößen, von Belastung und Verschleiß zu beseitigen und Zielkonflikte, die von anderen Regelvorgängen herrühren, auszugleichen. Beispiele für geregelte Vorgänge sind die

- Frequenz- und Spannungshaltung im elektrischen Verbundnetz,
- translatorische Bewegung einer Aufzugskabine,
- räumliche Bewegung eines Flugkörpers oder die Greifbewegung eines Roboters.

Der Zweck einer Regelung ist es also, technische Abläufe definiert und reproduzierbar zu gestalten, eine universelle Aufgabe in der Technik. Sie hat viele Parallelen im nicht-technischen Bereich und in der Natur, da jedes zielgerichtete und der Korrektur unterliegende Handeln sich als Regelvorgang deuten läßt. Andererseits kann der Ausgleich von Störgrößen auch einen Schutz vor gefährlichen Umwelteinflüssen bedeuten, weshalb die in der biologischen Evolution entstandenen Regelmechanismen als eine Voraussetzung für die Entwicklung höheren organischen Lebens zu betrachten sind.

Da der Korrektur eine Messung vorausgehen muß, entsteht – wie Bild 1 zeigt – bei jeder Regelung ein geschlossener Wirkungskreis; jedes Regelsystem birgt deshalb ein Stabilitätsproblem, das durch geeignete Wahl des Reglers gelöst werden muß.

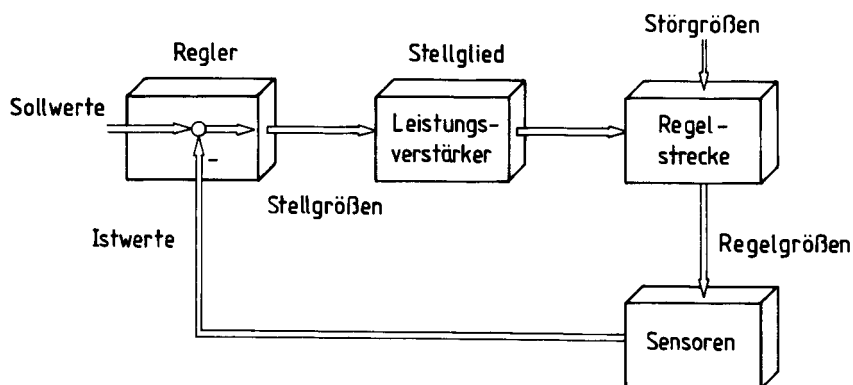


Bild 1:
Prinzip eines Regelkreises

Der Aufbau eines technischen Regelsystems umfaßt mehrere Teilaufgaben:

- Die Messung der interessierenden physikalischen Größen (Kraft, Druck, Durchfluß, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Temperatur, pH-Wert usw.) mit Sensoren und ihre Umwandlung in elektronische Signale niedriger Leistung.
- Die Bestimmung des Regelfehlers durch Soll-Ist-Vergleich und die Verarbeitung (Filterung, Prädiktion, Integration usw.) in einem Regler, mit dem Ziel der Erzeugung eines geeigneten Stellsignals, das den Regelfehler beseitigt und gleichzeitig die Stabilität des gesamten Systems sichert.
- Die Verstärkung des Stellsignals und die Steuerung des technischen Prozesses (Regelstrecke).

Bei der Lösung aller Teilaufgaben ist heute die Halbleitertechnik unentbehrlich, wobei die in den Halbleiterelementen umgesetzten, bzw. von Halbleiterbaugruppen gesteuerten elektrischen Leistungen zwischen μW und GW liegen, d. h. 15 Größenordnungen

überspannen. Das für die aktiven Elemente heute vorzugsweise verwendete Halbleitermaterial ist Silizium, das als Rohstoff in beliebigen Mengen zur Verfügung steht und wegen der verbreiteten Infrastruktur in der Verarbeitung keine Monopolsituation befürchten läßt. Bei der Entwicklung und Erzeugung des für elektronische Halbleiterelemente benötigten hochreinen Siliziums hat übrigens unsere Industrie eine bedeutende Stellung; wichtige Verfahren stammen aus ihrer Forschung und beträchtliche Anteile, z. B. auch des in der amerikanischen Halbleiterindustrie verwendeten Siliziums, aus ihrer Produktion.

2. Messung und Signalverarbeitung

2.1. Analoge Verfahren

Für viele physikalische Größen, seien sie elektrischer, mechanischer, magnetischer oder thermischer Natur, gibt es heute Sensoren auf Halbleiterbasis mit elektronischem Ausgangssignal. Sie zeichnen sich durch hohe Empfindlichkeit und kleine Abmessungen aus, da alle aktiven Teile, die elektrischen Verbindungen und die erforderliche Verarbeitungselektronik im Halbleiterkristall integriert sein können. Das elektrische Nutzsignal kann im Prinzip beliebig klein sein, da die Signalverstärkung mit Halbleitern keine unüberwindbaren Schwierigkeiten mehr bedeutet; wesentlich ist nur ein hinreichend großes Verhältnis von Nutz- und Störsignal.

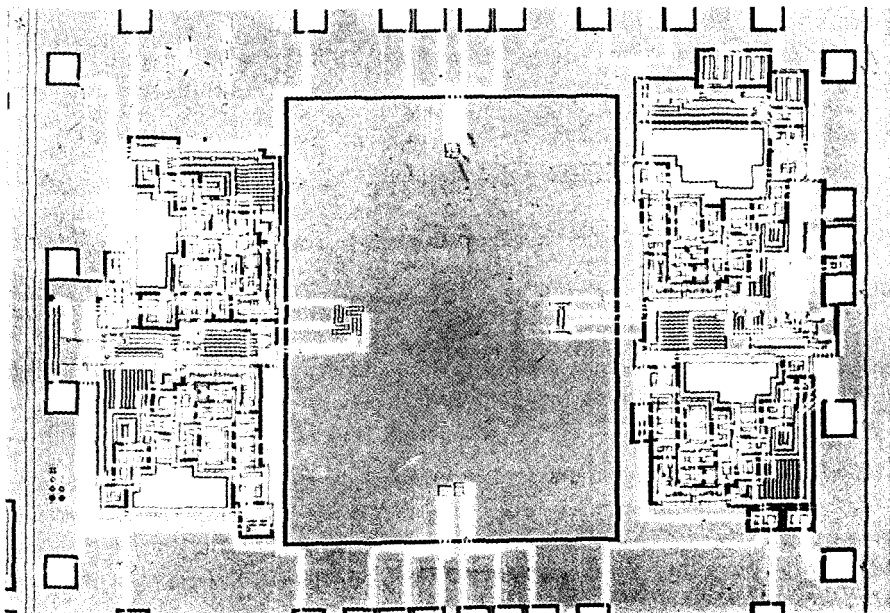


Bild 2:
Mikroaufnahme eines integrierten Drucksensors (Toyota)

Als Beispiel ist in Bild 2 die Mikroaufnahme eines integrierten Sensors gezeigt, der zur Druckmessung im Ansaugkanal von Verbrennungsmotoren dient. Die druckabhängige Deformation des Mittelstückes wird dabei durch piezoresistive Dehnungselemente an den vier Kanten in ein elektrisches Signal umgesetzt, das mit den in den Außenbereichen angeordneten Kompensations- und Verstärkerschaltungen aufbereitet wird. Der Meßbereich des 1×3 mm großen Halbleitersensors liegt zwischen Null und 750 mm Hg; die Empfindlichkeit von 4 mV/mm Hg wird dabei in einem Temperaturbereich von -20°C bis 110°C mit geringen Abweichungen konstant gehalten. Die den Einbau erleichternden kleinen Abmessungen und die durch eine automatisierte Fertigung erreichbaren niedrigen Produktionskosten sind wichtige Aspekte, für die es bei Sensoren aus diskreten Bauelementen keine Parallelen gab.

Die meisten Sensoren arbeiten „analog“, indem sie die zu messende Größe $x(t)$ über einen stetigen physikalischen Zusammenhang $u = f(x)$ in ein elektrisches Signal $u(t)$ abbilden. Falls die Kennlinie $f(x)$ nicht ausreichend linear ist, kann sie in einem nachgeschalteten Korrekturglied mit der Umkehrfunktion linearisiert werden. Wegen der unvermeidlichen Störeinflüsse und Parameteränderungen, z. B. durch Alterung oder Temperatureffekte, sind meist Abgleichschaltungen notwendig, wie dies am Beispiel des Drucksensors gezeigt wurde. Auch für einen selbsttätigen Abgleich gibt es heute schon brauchbare elektronische Lösungen.

Die wichtigsten Hilfsmittel der Signalaufbereitung sind elektronische Schaltungen unter Verwendung von Transistor-Verstärkern hoher Verstärkung und Übertragungsbandbreite (Frequenzbereich von Null bis MHz). Solche universell verwendbaren Bauelemente sind heute als miniaturisierte und im Halbleiterkristall eingebettete „integrierte Rechenverstärker“ für wenige DM erhältlich. Bild 3 zeigt einen solchen „Verstärker-Chip“ in Verbindung mit externen elektrischen Schaltelementen; diese bestimm-

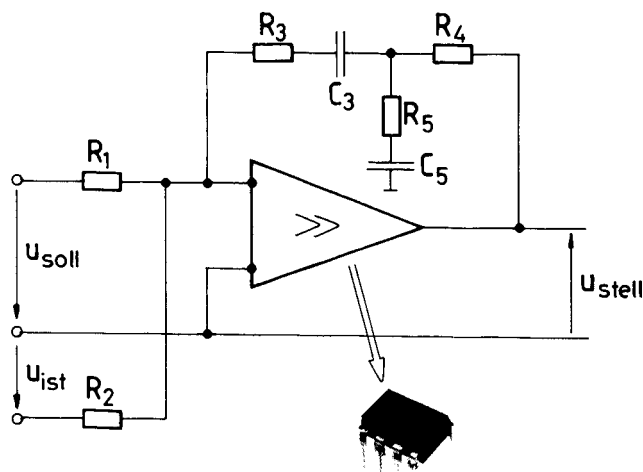


Bild 3:
Integrierter Rechenverstärker

men das Gesamtübertragungsverhalten in Form einer „analogen“ Differentialgleichung, wobei die Eingangsgröße als Anregungsfunktion, die Ausgangsgröße als Lösungsfunktion wirkt. Während des Betriebs wird diese Gleichung „in Echtzeit“, d. h. schritthaltend mit dem technischen Prozeß, gelöst. Außer den linearen Verstärkern gibt es, allerdings meist zu höheren Kosten, viele andere integrierte Analogschaltungen, etwa Multiplizierer, Modulatoren, Komparatoren oder Kennlinienbildner. Sobald bestimmte Funktionen mit speziellen Anforderungen und definierbaren Randbedingungen in größerer Stückzahl benötigt werden, geht die Halbleiterindustrie unverzüglich daran, entsprechende Standardbausteine zu entwickeln und auf dem zunehmend breiter werdenden Markt anzubieten. Meistens besteht dann nach kurzer Zeit die Möglichkeit, konkurrierende oder in Lizenz gebaute Komponenten von anderen Firmen zu beziehen, was bei größeren Vorhaben einen wichtigen Sicherheitsaspekt darstellt.

Zusätzlich zu diesen sog. Standardbausteinen bietet die Halbleiterindustrie heute auch Verfahren an, um für Kunden spezielle, d. h. individuell entwickelte, Bausteine zu fertigen. Dies kann bereits bei wenigen tausend Exemplaren interessant werden; bei Großserien, etwa für Anwendungen in der Nachrichtentechnik oder im Automobilbau, werden solche kundenspezifische Schaltungen fast immer die wirtschaftlichste Lösung darstellen. Außerdem schützen sie, wenigstens für begrenzte Zeit, vor unerlaubtem Nachbau.

2.2. Digitale Signalverarbeitung

Die Möglichkeiten der Signalverarbeitung lassen sich durch den Übergang zu digitalen Verfahren wesentlich erweitern, denn

- binäre Signale, aus denen digitale Signale aufgebaut sind, haben ein wesentlich größeres Nutz-Stör-Verhältnis als analoge Signale, so daß Nullpunktsfehler und Störsignale an Bedeutung verlieren.
- mit einer ausreichenden Wortlänge und einem geeigneten Algorithmus besteht nicht mehr die Gefahr einer unkontrollierten Fehlerfortpflanzung wie bei analogen Verfahren, so daß sich die Möglichkeit einer praktisch beliebig komplexen numerischen Signalverarbeitung eröffnet.
- für die physikalischen Grundgrößen Zeit und Länge bzw. Winkel gibt es sehr genaue und digital leicht übertragbare Referenzgrößen. So ist z. B. eine hochgenaue Quarzfrequenz ($\Delta f < 10^{-6} f_0$) auf Halbleiterbausteinen kostengünstig verfügbar (10^{-6} entspricht einem Fehler von weniger als 1 s in 10 Tagen); mit erhöhtem Aufwand läßt sich diese Genauigkeit noch wesentlich steigern.

Für die Signalwandlung Analog/Digital und Digital/Analog sind an den Schnittstellen Umsetzer erforderlich, die Verstärker und Logikschaltungen enthalten und ebenfalls als integrierte Halbleiterbausteine für die unterschiedlichsten Spezifikationen erhältlich sind. Analog/Digitalwandler arbeiten häufig nach dem Prinzip der schrittweisen Approximation, indem sie den analogen Meßwert von beiden Seiten eingrenzen. Umwandlungszeiten von wenigen Mikrosekunden und Auflösungen bis zu 16 bit, d. h. ± 32.000 Stufen, gehören zum Stand der Technik; allerdings nehmen die Kosten mit der

Wortlänge und der Geschwindigkeit stark zu. Während man in der Anfangszeit der Digitaltechnik verschiedene leicht lesbare dezimal/binäre Codes bevorzugte, hat sich heute der Dualcode für die rechnerinterne Verarbeitung allgemein durchgesetzt. Lediglich bei der Ein- und Ausgabe, d. h. an der Mensch-Maschine-Schnittstelle, werden andere und leichter interpretierbare Codes verwendet.

Bei einer digitalen Signalverarbeitung treten an die Stelle der Differentialgleichungen für analoge Signale Differenzgleichungen zur Verarbeitung der diskreten Wertefolgen, wobei die gleiche Vielfalt an Funktionen zur Verfügung steht. Sofern die Taktfrequenz genügend hoch ist, werden die durch die Diskretisierung der Signale entstehenden Unstetigkeiten von der verzögerungsbehafteten Regelstrecke interpoliert, so daß die Ausgangsgröße praktisch stetig verläuft. Damit ist von außen nicht mehr erkennbar, daß ein Teil der Verarbeitungskette nicht kontinuierlich sondern amplitudenmäßig und zeitlich diskret arbeitet.

3. Signalverarbeitung in der Regeltechnik

3.1. Analog oder digital?

Die digitale Signalverarbeitung wurde bei Regelungen vor etwa 25 Jahren erstmals verwendet; Anlaß waren die damit erreichbare Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Um z. B. den Vorschub an einer Werkzeugmaschine mit einem Verstellhub von 1 m auf 10 µm genau regeln zu können, ist eine Messung des Lagefehlers mit einer Toleranz von weniger als 10^{-5} erforderlich. Bei einem digitalen Soll-Ist-Vergleich bietet dies keine Schwierigkeiten, sofern der Istwert genau genug erfaßt werden kann, während bei einem analogen Verfahren der Abgleich durch Drifteffekte und Störsignale verfälscht würde. Ein weiterer Gesichtspunkt, der für digitale Regelverfahren sprach, war die Möglichkeit der Speicherung von Sollwertprogrammen bei Werkzeugmaschinen und die Istwertverarbeitung zur Prozeßanalyse und Optimierung z. B. in der Verfahrenstechnik. Ein breiter Einsatz digitaler Regelverfahren war allerdings nicht praktikabel, da digitale Verfahren mit einem großen gerätetechnischen Aufwand belastet waren; die Anwendung blieb deshalb auf wenige Fälle, z. B. teure Werkzeugmaschinen, Richtantennen oder Papiermaschinenantriebe beschränkt.

Sobald mit diskreten Halbleiterkomponenten leistungsfähige und zuverlässige Prozeßrechner, d. h. Digitalrechner mit Einrichtungen für Echtzeitsignalverarbeitung, hergestellt werden konnten, versuchte man, größere Automatisierungsaufgaben mit einer zentralen Rechnerstruktur, wie sie in Bild 4 a gezeigt ist, zu lösen.

Der Prozeßrechner hat dabei die Aufgabe, eine größere Zahl von Regelaufgaben (50 oder 100) zeitlich ineinander verschachtelt zu bearbeiten. Nur so schien es möglich, den großen Aufwand für den Rechner wirtschaftlich zu rechtfertigen. Allerdings weist eine solche zentrale Struktur – wie aus Wirtschaft und Politik bekannt – gravierende Nachteile auf, die zunächst unterschätzt wurden:

- Alle, auch die zeitkritischen Signale, müssen den zentralen Rechner passieren, so daß ein Informations-Engpaß entsteht, der bei einer Störung im Kern des Rechners

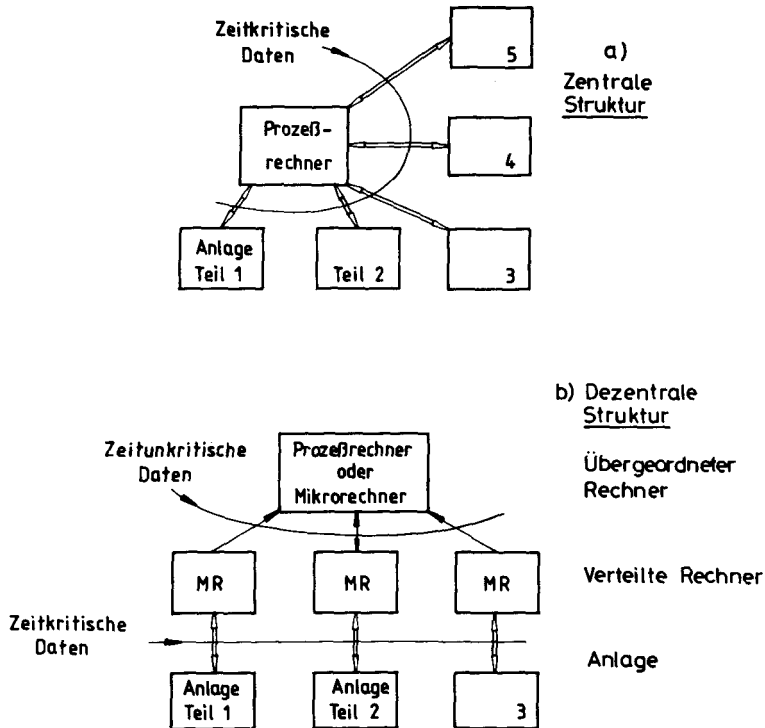


Bild 4:

Zentrale und dezentrale Struktur einer rechnergesteuerten Automatisierung

zu einem Gesamtausfall des Systems, z. B. einer verfahrenstechnischen Großanlage, führen kann. Zeitweilige Übernahme der Regelfunktionen durch das – angesichts der angestrebten Automatisierung reduzierte – Bedienungspersonal ist dann nicht möglich. Da eine solche Störung im Rechner, selbst bei einer Verfügbarkeitsgarantie von 99,5%, nie auszuschließen ist, bleibt nur die Einführung von Redundanz, d. h. die Bereitstellung eines verteilten analogen Regelsystems, auf das im Bedarfsfall umgeschaltet werden kann oder eines zweiten Rechners, der sich im Normalbetrieb passiv verhält (wobei er seine Ergebnisse mit denen des aktiven Rechners vergleicht) und im Störfall die Regelung übernimmt. Wegen der Schwierigkeit, schnell festzustellen, bei welchem Rechner im Falle einer Abweichung ein Defekt vorliegt, kann es notwendig sein, noch einen dritten Rechner aufzustellen, um Mehrheitsentscheidungen zu treffen. Solche aufwendigen Lösungen mindern natürlich die Attraktivität einer zentralen digitalen Regelung erheblich, dennoch sind solche Mehrrechnerstrukturen für Anlagen mit hohen Sicherheitsanforderungen, z. B. Eisenbahnstellwerke oder Kraftwerke, ausgeführt worden; die Kosten sind aber natürlich sehr hoch.

- Eine zweite Problematik der in Bild 4a gezeichneten zentralen Struktur liegt in der Programmierung des Prozeßrechners. Da die Prioritäten der einzelnen Teilprogramme, charakterisiert durch den Zeitmaßstab der jeweiligen Teilregelstrecke und die erforderliche Abtastfrequenz, verschieden sind, muß es möglich sein, ein laufendes Teilprogramm durch ein anderes mit höherer Priorität zu unterbrechen. Die vorhandenen Zwischenergebnisse sind dabei abzuspeichern, um das unterbrochene Teilprogramm nach Erledigung der dringlicheren Aufgabe ordnungsgemäß weiterführen zu können. Bei einer größeren Anlage bestehen mehrere Prioritätsebenen, so daß solche Unterbrechungsanforderungen ineinander verschachtelt auftreten können. Dies führt auf eine verwickelte Programmstruktur und einen äußerst unübersichtlichen Programmablauf. Da schließlich oft in einer rechnerspezifischen Sprache (Assembler) programmiert werden mußte, um Rechenzeit zu sparen, entstanden in der Praxis schwer wartbare Programme, was wiederum die Kostenseite belastete.

Diese Schwierigkeiten haben dazu geführt, daß digitale Regelverfahren mit zentralen Prozeßrechnern nicht die erwartete Bedeutung für die industrielle Automatisierung angenommen haben. Erst mit kompakten und leistungsfähigen Mikrorechnern, wie die Halbleitertechnik sie heute zur Verfügung stellt, lassen sich umfangreiche regelungstechnische Aufgaben wirtschaftlich lösen. Mit einer dezentralen Struktur gemäß Bild 4b ist dafür zu sorgen, daß zeitkritische Signale unmittelbar und ohne die Notwendigkeit der Koordination mit anderen Anlageteilen verarbeitet werden können. Ein zentraler Rechner kann für übergeordnete Aufgaben, z. B. Optimierung, weiterhin vorhanden sein, doch muß es sich um eine lose Kopplung mit zeitunkritischen Signalen handeln. Mit einer solchen Systemstruktur sind sowohl die Probleme der begrenzten Verfügbarkeit wie auch der komplexen Programmierung in überzeugender Weise lösbar.

Auch die Frage „Analog oder Digital“ verliert durch die Mikroelektronik an Gewicht; da der gerätetechnische Aufwand sich nicht mehr wesentlich unterscheidet, reduziert sich die Entscheidung auf eine Frage der Zweckmäßigkeit. Dabei wird es sich künftig manchmal zeigen, daß eine digitale Lösung zwar aus Genauigkeitsgründen nicht notwendig wäre, daß sie aber auf längere Sicht sogar den Vorteil geringerer Kosten verspricht.

3.2. Beispiele für Echtzeit-Signalverarbeitung

Anhand zweier Beispiele soll die Komplexität der heute in der Regeltechnik für eine wirtschaftliche Lösung anstehenden Probleme bei der Echtzeit-Signalverarbeitung angedeutet werden.

Bild 5 zeigt einen sechssachsigen Gelenkroboter, wie er von der Automobilindustrie für die eigene Produktion gebaut wird. Die drei Hauptachsen sind in schematischer Form in Bild 6 skizziert. Die Regelungsaufgabe kann darin bestehen, das „Handgelenk“ auf einer vorgegebenen räumlichen Bahnkurve

$$\dot{\mathbf{x}}_{\text{soll}}(t) = [\dot{x}_{1\text{soll}}(t), \dot{x}_{2\text{soll}}(t), \dot{x}_{3\text{soll}}(t)]_T^T,$$

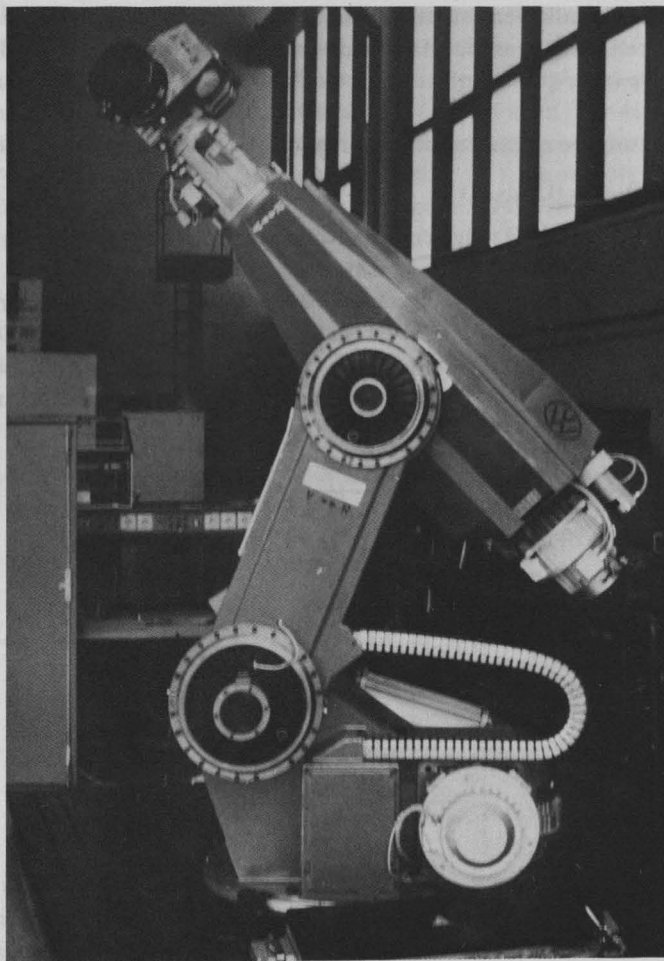
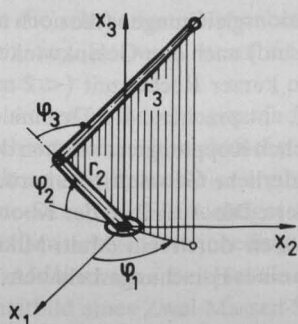


Bild 5:
Roboter mit sechs Bewegungsachsen (VW)



$$x_1 = - \left[r_2 \cos \varphi_2 + r_3 \cos (\varphi_2 + \varphi_3) \right] \cos \varphi_1$$

$$x_2 = - \left[r_2 \cos \varphi_2 + r_3 \cos (\varphi_2 + \varphi_3) \right] \sin \varphi_1$$

$$x_3 = r_2 \sin \varphi_2 + r_3 \sin (\varphi_2 + \varphi_3)$$

Bild 6:
Hauptachsen eines Gelenkroboters

im räumlichen Koordinatensystem zu führen. Die Energiezufuhr erfolgt dabei durch elektrische Stellantriebe an den Hauptachsen, die mit Regelungen für die Gelenkwinkel $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$ ausgerüstet sind; die Raumkoordinaten selbst sind meist nicht meßbar.

Somit ist die Aufgabe zu lösen, zeitlich veränderliche Sollwerte für die Gelenkwinkel,

$$\varphi_{1\text{soll}}(t), \varphi_{2\text{soll}}(t), \varphi_{3\text{soll}}(t)$$

so zu erzeugen, daß das Handgelenk des Roboters gerade die gewünschte räumliche Sollbahn $\underline{x}_{\text{soll}}(t)$ ausführt.

Ein mögliches Regelschema ist in Bild 7 skizziert; es enthält eine inverse Koordinatentransformation \underline{K}^{-1} von den Raum- in die Gelenk-Sollkoordinaten. Diese Rechnung ist in schneller Folge, d. h. mit einer Frequenz von einigen 100 Hz, auszuführen, um eine genaue und von ruckartigen Beschleunigungen freie Bahnkurve zu erzeugen.

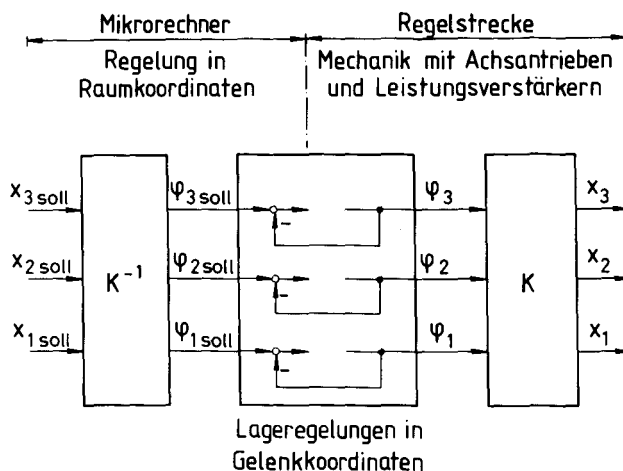


Bild 7:

Koordinatentransformation bei der Bahnführung eines Roboters

Die Auflösung der in Bild 6 enthaltenen Transformationsgleichungen (die noch um drei Drehbewegungen des Handgelenkes zu ergänzen sind) nach den Gelenkwinkeln erfordert erheblichen numerischen Aufwand, da neben kurzer Rechenzeit ($< 2\text{ ms}$) auch eine beachtliche Genauigkeit mit 16 bit Auflösung, entsprechend 4–5 Dezimalen verlangt wird. Bei der Regelung selbst sind die dynamischen Kopplungen zwischen den Achsen (Zentrifugal-, Coriolis-Kräfte) sowie die veränderliche Geometrie zu berücksichtigen, die sich in variablen Trägheitsmomenten äußert. Die Aufgaben der Koordinaten-Transformation und Gelenkwinkel-Regelung sollen durch ein Multi-Mikrorechner-System bearbeitet werden, das sich im Rahmen eines Forschungsvorhabens in Entwicklung befindet.

Als weiteres Beispiel einer anspruchsvollen Echtzeit-Signalverarbeitung sei die adaptive Regelung erwähnt. Das Problem tritt bei Regelstrecken auf, deren Übertragungsverhalten sich arbeitspunktmäßig so stark verändert, daß ein fest eingestellter Regler zu unbefriedigenden Ergebnissen führt. In solchen Fällen kann man versuchen, aus den meßbaren Signalen, z. B. der Eingangs- und Ausgangsgröße der Regelstrecke, deren im Augenblick gültiges Übertragungsverhalten zu rekonstruieren, um daraus Hinweise für die Nachstellung des Reglers abzuleiten. Das Prinzip einer adaptiven Regelung ist in Bild 8 illustriert.

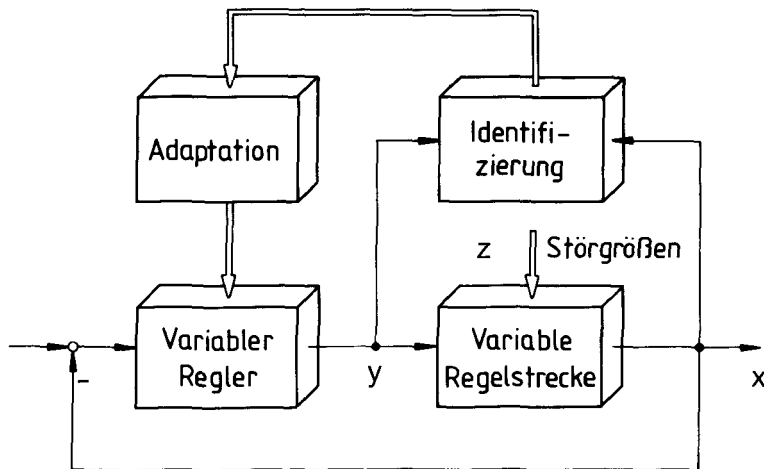


Bild 8:
Prinzip einer adaptiven Regelung

Das Hauptproblem besteht hierbei darin, aus dem gemessenen Verlauf $x(t)$ die Wirkung der nicht meßbaren und daher unbekannten Störgrößen $z(t)$ zu eliminieren. Für diese sog. Identifizierungsaufgabe werden statistische Schätzverfahren herangezogen, z. B. mehrdimensionale Regressionsverfahren, mit denen sich durch umfangreiche und mit unsicheren Annahmen belastete Rechnungen die unbekannten Parameter der Regelstrecken-Differenzengleichung ermitteln lassen. Auch hier ist eine kurze Rechenzeit die schwierigste Nebenbedingung; die Ergebnisse der Identifikation sind ja nur dann von Interesse, wenn sie rechtzeitig verfügbar sind, um die Regelung zu verbessern.

Adaptive Regelungen sind seit langem Gegenstand theoretischer Forschungen, doch war der gerätetechnische Aufwand für die nur digital ausführbaren Berechnungen bisher zu groß, auch hier ergibt sich durch die Entwicklung der Mikroelektronik eine neue Situation. Ein wichtiges Anwendungsgebiet werden Roboter sein, deren Eigenschaften sich geometriebedingt ändern.

Als konkretes Beispiel einer veränderlichen Regelstrecke zeigt Bild 9 das Blockschaltbild eines Zwei-Massen-Systems mit elastischer Welle, das durch eine Differen-

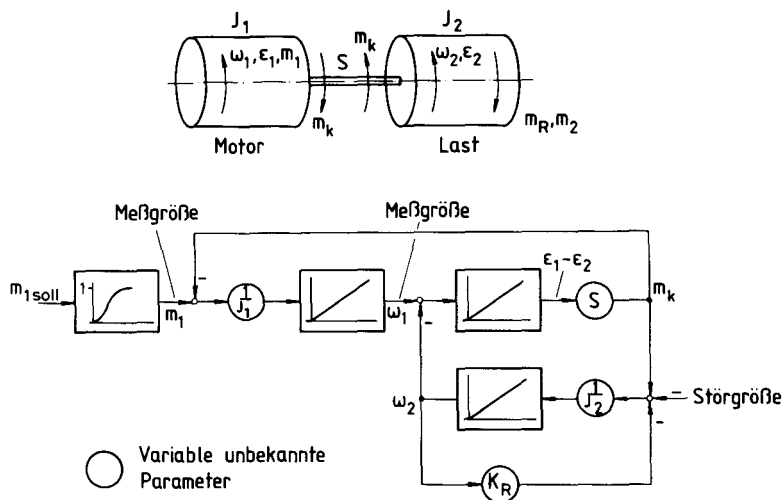


Bild 9:
Zwei-Massen-System

tialgleichung dritter Ordnung beschrieben wird. Das Identifikationsproblem kann sich hier so darstellen, daß aus den meßbaren Verläufen des Antriebsdrehmomentes $m_1(t)$ und der Motordrehzahl $\omega_1(t)$ die unbekannten Parameter:

- J_1, J_2 Motor- und Lastträgheitsmomente
- S Steifigkeit der Welle
- K_R Reibungskoeffizient der Last

zu bestimmen sind; das externe Last-Drehmoment m_2 ist im allgemeinen nicht meßbar.

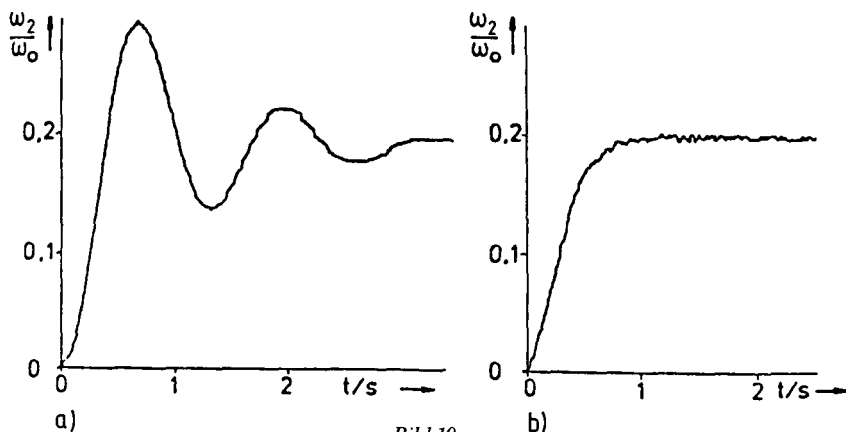


Bild 10:
Regelvorgang mit festeingestelltem und adaptiven Regler

Das Ergebnis einer adaptiven Regelung ist in Bild 10 gezeigt. Dabei wurde zunächst ein Regler für eine vorgegebene Regelstrecke so berechnet, daß eine sprungförmige Änderung der Führungsgröße (in diesem Fall der Solldrehzahl) ein gut gedämpftes Einschwingverhalten des geschlossenen Regelkreises zur Folge hatte. Anschließend wurde ein Regelstreckenparameter um den Faktor 5 verstellt, so daß der Regler grob fehlangepaßt war; die Folge war der in Bild 10a gezeigte unbefriedigende Einschwingvorgang. Dagegen war es mit einem adaptiven Regler möglich, das veränderte Streckenverhalten schnell genug zu erkennen, um den Regler rechtzeitig nachzuführen und den Einschwingvorgang in Bild 10b günstig zu beeinflussen. Die Adaptation eines Reglers aufgrund einer Identifikation des Streckenverhaltens läßt sich als Lernvorgang deuten, wie er auch bei manuellen Regelungen oder in der Natur vorkommt.

4. Mikroelektronik

4.1. Mikrorechner

Der 1948 erfundene Transistor war nach heutigen Maßstäben ein noch unvollkommenes und großes Halbleiterbauelement aus einem Germaniumkristall, mit dem es möglich war, den Stromfluß zwischen zwei Elektroden mit einem kleinen Hilfsstrom in einer dritten Elektrode zu steuern. Dieses Verstärker-Bauelement wurde in der Folgezeit in vielfältiger Weise, z. B. mit anderen Halbleitern und anderen Funktionsprinzipien, verbessert, so daß heutige Transistoren mit dem damaligen Prototyp hinsichtlich Verstärkung, Grenzfrequenz, Verlustleistung, Temperaturbereich, Abmessungen und Kosten kaum mehr vergleichbar sind. Insbesondere entstand im sog. Feldeffekt-Transistor auch eine Variante, bei der an die Stelle des Steuerstroms das Potential einer hochohmigen Steuerelektrode tritt, ähnlich der frühen Vakuum-Elektronenröhre, aber ohne deren Nachteile.

Da eine Miniaturisierung, wie sie für die Raumfahrt notwendig war, eine kleine Verlustleistung erfordert, bietet die digitale Signaldarstellung wieder besondere Vorteile; der Transistor wird dabei als Schalter betrieben, so daß entweder die Spannung oder der Strom sehr klein ist. Dadurch bot sich zum einen die Möglichkeit, zahlreiche Transistoren dicht gepackt auf einem Halbleiterkristall zu „integrieren“ und sie halbleiterintern durch metallische Leitungen zu verbinden; dies führte zu den integrierten Schaltungen, die heute als logische Funktionsbausteine, Rechenwerke (Mikroprozessoren) und Mikropeicher in einer kaum überschaubaren Vielfalt angeboten werden und ganze Bereiche der Technik revolutionieren.

In einer zweiten Entwicklungslinie war es durch Anwendung des Schaltprinzips und Vergrößerung der Halbleiterfläche möglich, die von einem einzelnen Transistor steuerbare elektrische Leistung immer weiter zu steigern, so daß heute Leistungstransistoren mit einer Ausgangsleistung von vielen kW zur Verfügung stehen. Dieser Aspekt der Halbleitertechnik wird anschließend betrachtet.

Die durch Miniaturisierung der Transistorschalter mögliche massenweise Integration in einem einzelnen Halbleiterkristall und durch automatisierte Herstellungsver-

fahren erreichte Packungsdichte überschreitet inzwischen jedes anschauliche Vorstellungsvermögen; bei Halbleiterspeichern mit ihren regelmäßigen geometrischen Mustern ist dies besonders ausgeprägt. Hier ist man bei 256 k bit-Chips, d. h. $2^{18} \approx 256.000$ binären Speicherzellen auf einem 5×5 mm großen Si-Plättchen angelangt, für $2^{20} \approx 10^6$ bit-Chips (Megabit) werden bereits Produktionsanlagen gebaut und mit $2^{22} \approx 4 \cdot 10^6$ bit-Chips wird experimentiert. Diese Steigerung der Speicherkapazität durch Verkleinerung der elementaren Abmessungen von Leiterbahnen etc. auf $2 \mu\text{m}$ und künftig auf unter $1 \mu\text{m}$ geht einher mit einer dramatischen Senkung der Speicherkosten je bit. In Forschungslaboratorien wird heute schon an Mikroschaltungen mit 20 nm-Strukturen, d. h. weit unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes, gearbeitet. Dabei liegt natürlich die Assoziation zur Biologie nahe. Es sei hier nur erwähnt, daß die Periode der die Erbinformation tragenden Doppelspirale bei bestimmten Viren etwa 2 nm beträgt. Ein bedeutender Unterschied ist aber natürlich, daß biologische Strukturen räumlich, die von Mikroschaltungen dagegen flächenhaft angeordnet sind, so daß die Vielfalt der Biologie auch heute noch unerreichbar erscheint.

Die Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Bausteins durch Miniaturisierung und Vergrößerung der Packungsdichte der Einzelelemente ist natürlich nicht auf Mikro-speicher beschränkt, sondern erfaßt alle integrierten Schaltungen. Bild 11 zeigt als Beispiel die mikroskopische Aufnahme einer solchen Schaltung.

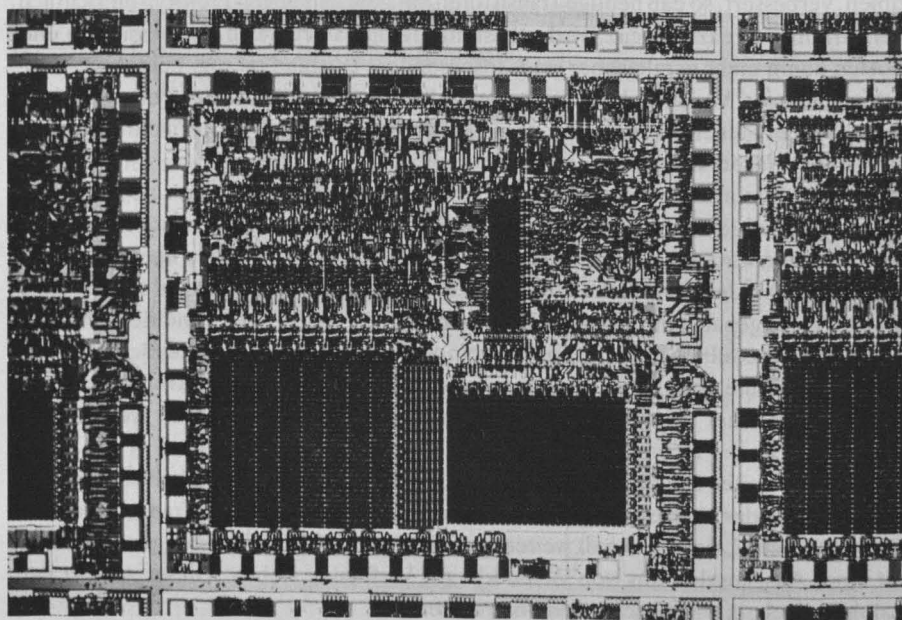


Bild 11:
Schaltung eines Mikroprozessors (Siemens)

Mit solchen Bausteinen lassen sich auf kleinstem Raum und mit geringen Kosten vollständige Rechner aufbauen, die bei entsprechender Verarbeitungsleistung noch vor wenigen Jahren ganze Elektronikschränke gefüllt hätten. Bild 12 zeigt einen Einkarten-Rechner unter Verwendung eines Mikroprozessors 80186 mit folgenden Daten:

Zahlenbereich	16 bit $\approx \pm 32.000$
Speicher	2^{17} bit $\approx 8k$ Worte à 16 bit
Addition	0,6 μ s
Multiplikation	4 μ s

Die Materialkosten eines solchen Rechners liegen unter DM 1000,-; bei spezieller Anwendungsoptimierung und großen Stückzahlen, z. B. im Automobilbau, können die Kosten um bis zu zwei Größenordnungen niedriger sein.

Wenn die damit erzielbare Rechenleistung nicht ausreicht, was bei der Verarbeitung schnell veränderlicher Signale leicht vorkommen kann, besteht die Möglichkeit, diesen Mikrorechner durch einen sog. Signalprozessor mit interner Parallelverarbeitung zu ergänzen. Signalprozessoren wurden ursprünglich für Anwendungen in der Nachrichtentechnik, z. B. bei der Sprachsignal-Verarbeitung, entwickelt, sie haben aber auch in anderen Bereichen, wie in der Regelungstechnik, Verwendung gefunden. Die in Bild 13 gezeigte Rechnerkarte mit einem Signalprozessor TMS 320 kann eine 16×16 bit

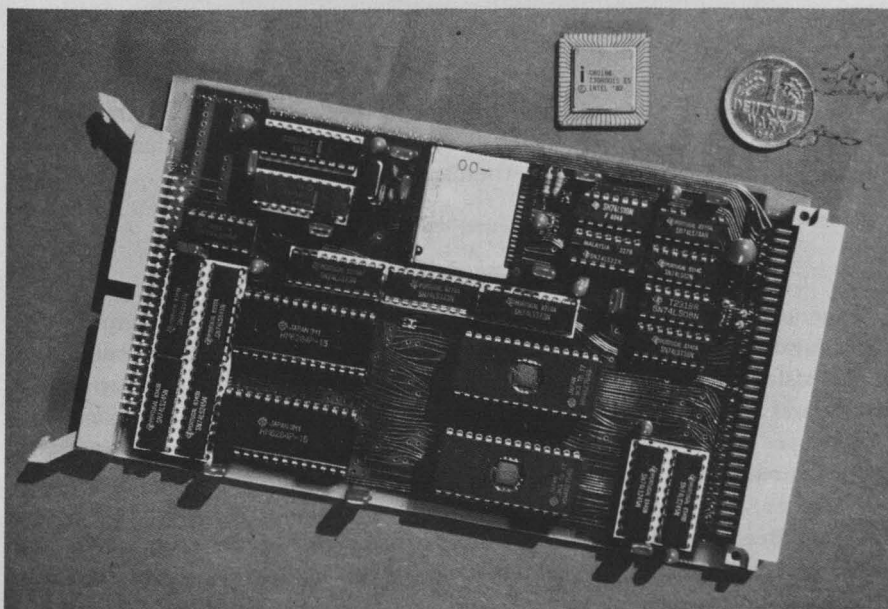


Bild 12:

Mikrorechner (Institut für Regelungstechnik) mit Prozessor INTEL 80186 und 8k Wort-Speicher

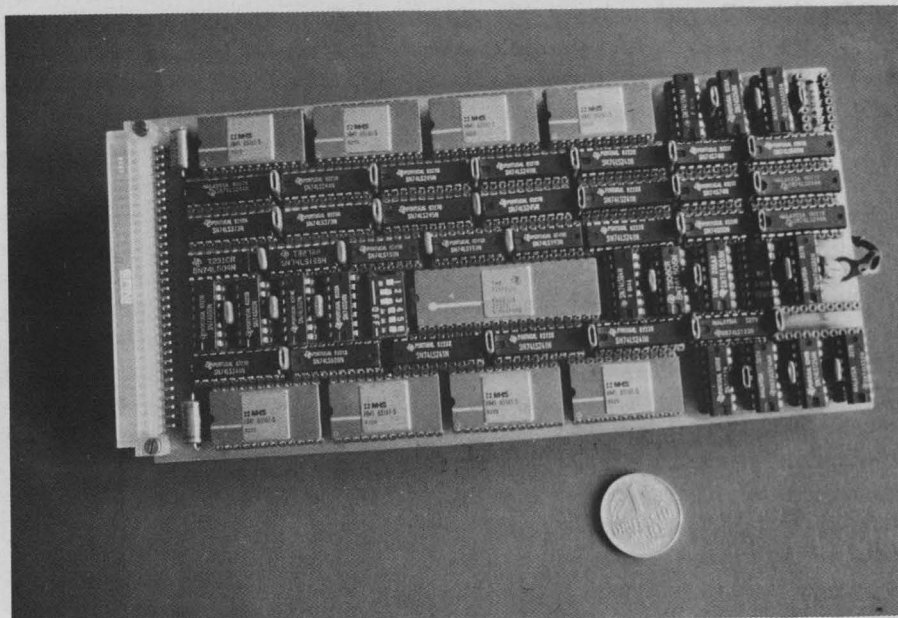


Bild 13:
Mikrorechner (Institut für Regelungstechnik) mit Signalprozessor TMS 320

Multiplikation im Festkommaformat in $0,2 \mu\text{s}$ ausführen, entsprechend 5 Mio. Multiplikationen/sec.

Signalprozessoren für Gleitkomma-Operationen sind inzwischen ebenfalls erhältlich. Damit sind die rechentechnischen Hilfsmittel verfügbar, um Regelungsprobleme nahezu beliebiger Komplexität mit vertretbarem Aufwand zu lösen.

5. Leistungselektronik

Während die Ergebnisse einer Rechnung im Rechenzentrum oder im Büro gewöhnlich als Ausdruck oder in einer graphischen Darstellung am Sichtgerät erscheinen und im Bedarfsfall in Ruhe überprüft werden können, wirkt ein regelungstechnisches Rechengerät unmittelbar auf die Regelstrecke, möglicherweise eine große und wertvolle Anlage. Dabei spielen Sicherheitsaspekte eine bedeutende Rolle, da wegen des kurzen Zeitmaßstabes und der oft unübersichtlichen Zusammenhänge eine manuelle Kontrolle der Signale vor ihrer Weiterleitung nicht möglich ist.

Für die Beeinflussung der zu regelnden Strecke wird Steuerleistung benötigt, die von einem Leistungsverstärker bereitzustellen ist. Es gibt hierfür verschiedene technische Lösungen, z. B. mit hydraulischer, mechanischer oder elektrischer Hilfsenergie. Wegen der einfachen Steuerbarkeit, der kurzen Reaktionszeit und der leichten Umwandlung elektrischer Energie in andere Energieformen haben bei ortsfesten Anlagen

elektrische Leistungsverstärker besondere Vorzüge; hier hat sich nach dem Aufkommen der Halbleitertechnik der ruhende Festkörperverstärker mit Silizium-Schaltelementen allgemein durchgesetzt. Wegen der großen Ausgangsleistungen kommt nur ein Schaltbetrieb in Betracht, um die Verluste im elektronischen Schalter klein zu halten. Die elektronischen Leistungs-Schaltelemente bestehen, ebenso wie die integrierten Mikroschaltungen, aus dotiertem Halbleitermaterial, gewöhnlich Silizium; die monokristallinen Scheiben sind ähnlich denen, woraus durch Zerteilen Mikroschaltungen gefertigt werden. Auch die Steuerungsvorgänge im Halbleiter sind ähnlich, obwohl natürlich andere Entwurfskriterien gelten.

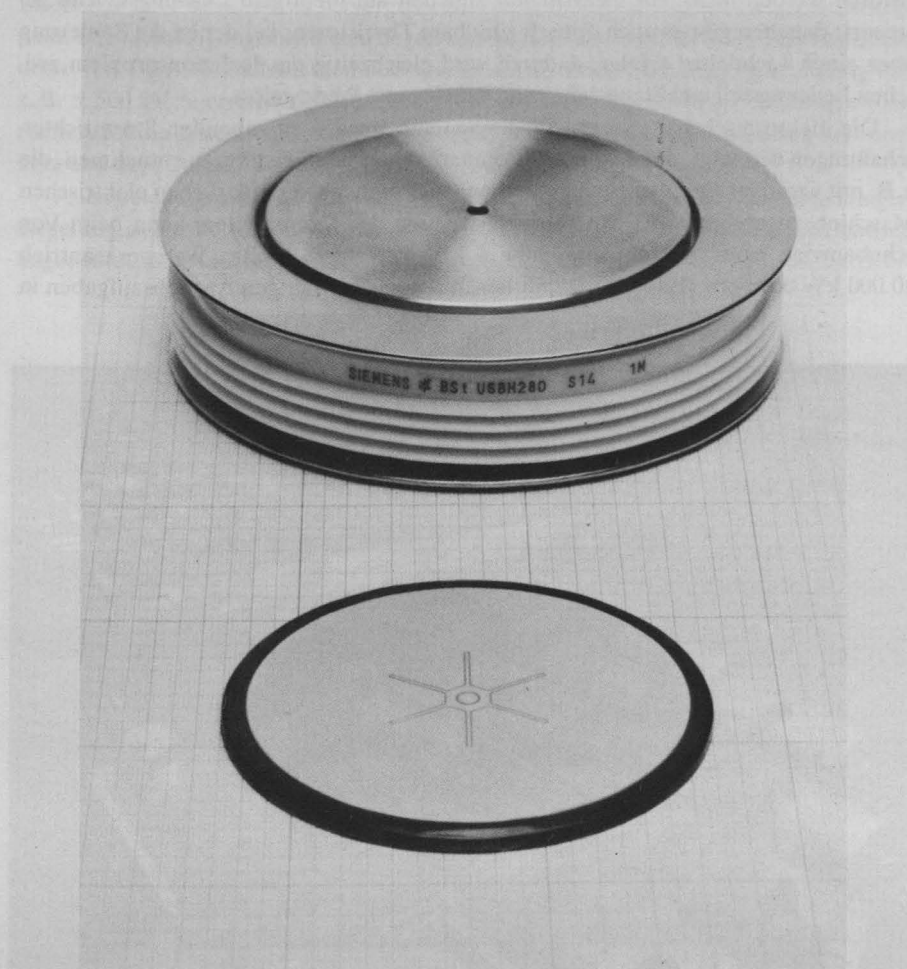


Bild 14:

Hochleistungsthyristor für 4 kV Sperrspannung und 4 kA Durchlaßstrom (Siemens)

Die mit elektronischen Schaltern steuerbaren Leistungen sind beachtlich: Bei Leistungstransistoren liegt die Grenze gegenwärtig bei etwa 1000 V Sperrspannung und einem maximalen Durchlaßstrom von einigen 100 A. Bei den langsamer schaltenden Thyristoren, die sich von Transistoren auch hinsichtlich des Steuerungsverfahrens unterscheiden, liegen die Grenzen etwa bei 5000 V und 5000 A je Element, wobei kurzzeitig eine mehr als 10-fache Stromüberlastung zulässig ist. Die Abmessungen sind nun völlig andere; während bei mikroelektronischen Schaltern die charakteristische Länge im Bereich von μm liegt, verwendet man für große Thyristoren Si-Einkristallscheiben von mehr als 10 cm Durchmesser. Bild 14 zeigt einen fertigen Hochleistungsthyristor und die zugehörige Halbleiterscheibe, d. h. den eigentlichen aktiven Teil. Heutige Thyristoren werden meist mit elektrischen Signalen auf niedrigem Leistungsniveau gesteuert; daneben gibt es auch optisch zündbare Thyristoren, bei denen die Steuerung über einen Lichtleiter erfolgt; dadurch wird gleichzeitig das Isolationsproblem zwischen Leistungsteil und Steuerschaltung auf elegante Weise gelöst.

Die elektronischen Leistungs-Schaltelemente werden zu ruhenden Stromrichter-schaltungen vereinigt, um dem Drehstromnetz steuerbare Leistung zu entnehmen, die z. B. mit variabler Frequenz und Spannung einer drehzahlveränderlichen elektrischen Maschine zugeführt wird. Die Ausgangsleistung des Stromrichters kann beim Vorschubantrieb einer Werkzeugmaschine 1 kW, bei einem großen Walzwerksantrieb 10.000 kW betragen (Bild 15). Damit lassen sich die vielfältigen Antriebsaufgaben in

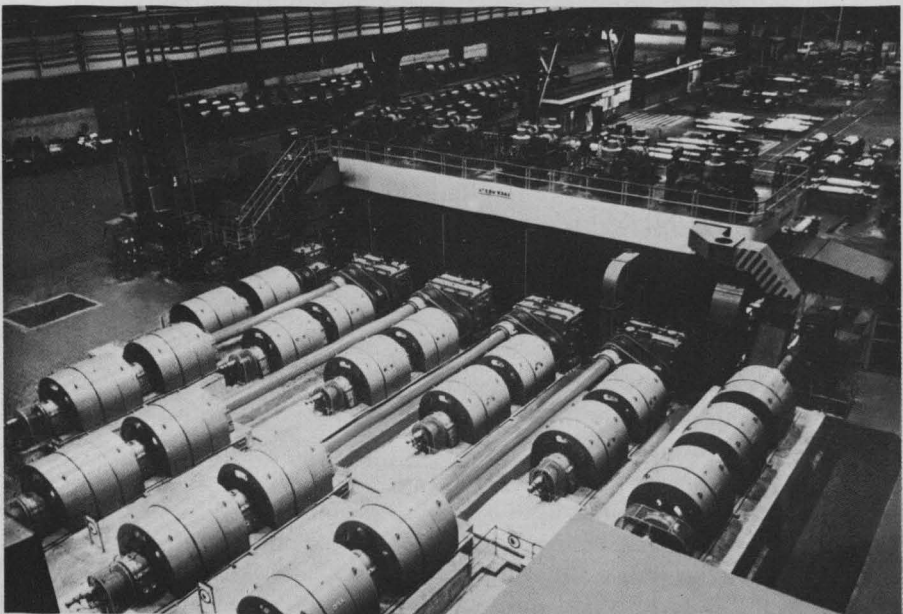


Bild 15:

Kaltwalzwerk mit stromrichtergespeisten Gleichstromantrieben (AEG)

der Industrie und im Transportwesen in wirtschaftlicher und energiesparender Weise erfüllen. Stromrichter gespeiste Antriebe sind immer mit umfangreichen Regeleinrichtungen versehen, die einmal zum Schutz von Stromrichter, Antriebsmaschine und Last dienen, zum anderen notwendig sind, um die je nach Betriebszustand erforderlichen Drehmomente, Beschleunigungen, Drehzahlen oder Drehwinkel definiert vorgeben zu können. Hier liegt ein weites Gebiet, wo Mikroelektronik und Leistungselektronik unmittelbar zusammenwirken.

Die größten mit Stromrichtern gesteuerten elektrischen Leistungen kommen bei der Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom vor, mit der es möglich ist, Energie auf weite Entfernung (>1000 km) ohne Stabilitätsprobleme zu übertragen, Inselnetze über Seekabel zu versorgen oder Netze unterschiedlicher Frequenz zu koppeln. Die Übertragungsleistungen liegen hier im Bereich von 1000 MW; dabei sind hunderte von Thyristorelementen notwendig, um die hohe Übertragungsspannung von z. B. ± 500 kV zu erreichen. Bild 16 zeigt einen Teil des 500 MW-Hochleistungsstromrichters für die erste unmittelbare Kopplung zwischen dem westeuropäischen Verbundnetz und dem Comecon-Netz.

Auch solche großen elektrischen Anlagen können nur mit einer leistungsfähigen Regelung sicher betrieben werden. Dabei genügt es nicht, wie in Bild 1 schematisch angedeutet, eine einzige Regelgröße zu erfassen; vielmehr müssen – je nach Betriebs-

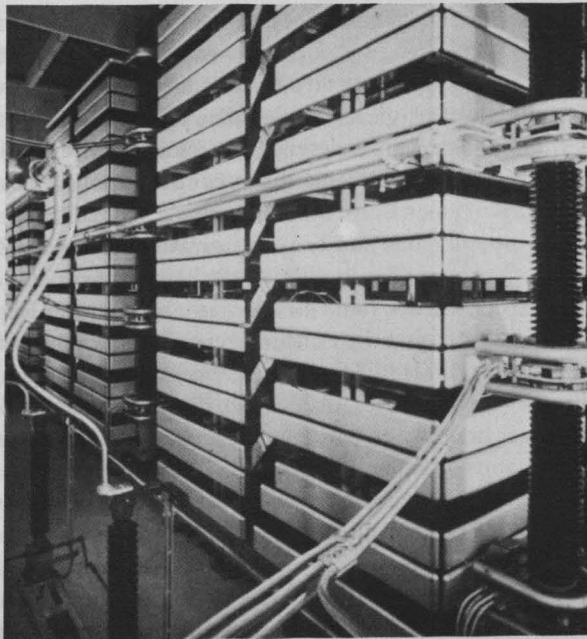


Bild 16:

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, Stromrichter in der Station Dürnrohr
(AEG, BBC, Siemens)

zustand – Ströme, Spannungen, Wirk- und Blindleistungen, Zünd- und Löschwinkel durch eigene Regelkreise geführt werden. Die Komplexität solcher Regelungen ist beträchtlich und ist wiederum am besten mit den Mitteln der Mikroelektronik beherrschbar.

Wegen der schnellen Schaltfolgen der Thyristoren – z. B. 300 Hz bei einem Hochleistungsstromrichter, 3 kHz bis oberhalb der Hörgrenze bei einem Stromrichter kleinerer Leistung – sind gesteuerte Stromrichter Leistungsverstärker und Stellglieder mit hervorragenden dynamischen Eigenschaften, mit dem sich z. B. das Drehmoment eines großen Walzmotors in weniger als 10 ms auf einen vom Drehzahlregler vorgegebenen Wert einstellen läßt. Nur mit Stromrichtern ist es möglich, Leistungen von vielen MW in einem Zeitmaßstab von ms, d. h. fast unverzögert, zu steuern. Hier gibt es weder bei hydraulischen noch mechanischen Leistungsverstärkern vergleichbare Alternativen.

Ausblick

Mikroelektronik und Leistungselektronik haben sich in den letzten Jahren stürmisch entwickelt, wobei einerseits immer dichter gepackte integrierte Schaltungen mit zunehmender Signalverarbeitungsleistung und zum anderen immer größere makroelektronische Komponenten mit praktisch unbegrenzter elektrischer Ausgangsleistung entstanden. Die Regelungstechnik verbindet beide Extreme, um hochwertige Regelsysteme zu bauen, die hinsichtlich Leistung, Dynamik, Genauigkeit und betrieblicher Flexibilität alles hinter sich lassen, was noch vor wenigen Jahren für möglich gehalten wurde. Dies wirkt sich auf allen Gebieten der Technik aus, in der Produktionstechnik wie im Verkehr oder in der Energieversorgung. Die Entwicklung selbsteinstellender, adaptiv-lernender und selbstdiagnostizierender Regelungen wird damit ebenso möglich wie der Entwurf kostengünstiger fehlertoleranter Steuerungen, bei denen ein Teilausfall nicht notwendig zu einer Betriebsunterbrechung führt. Damit sind alle Werkzeuge verfügbar, um die Aufgaben zu lösen, die der Wunsch oder der Zwang zur fortschreitenden Automatisierung in der Produktionstechnik stellt.

Man kann die Mikroelektronik somit als das ideale Medium der Regelungstechnik betrachten; sie ist wegen der praktisch materiefreien Technik umweltfreundlich und stellt ein weites innovatives und intellektuell anspruchsvolles Betätigungsfeld dar. Die Makroelektronik ist eine optimale Ergänzung, um die in der Mikroelektronik gewonnenen Steuersignale zur praktischen Wirkung zu bringen, ähnlich wie dies in der Natur beim Zusammenspiel von Gehirn und Muskel der Fall ist.

Die Entwicklung der Halbleitertechnik im gesamten Leistungsbereich bedeutet eine enorme Erweiterung der technischen Möglichkeiten, sie bringt aber wegen der Auswirkungen, z. B. in der Informations- und Produktionstechnik, bekanntermaßen auch Gefahren mit sich. Wir müssen mit dieser Ambivalenz leben, denn die technische Entwicklung läßt sich in einer offenen Wirtschaft weder verhindern noch ohne Schaden ignorieren. Die Lösung der entstehenden Folgeprobleme ist deshalb nicht ausschließlich im technischen Bereich zu suchen; die Aufgabe richtet sich als Herausforderung an die gesamte Gesellschaft, einschließlich der Sozialpartner, Politiker und Pädagogen.

Feierliche Jahresversammlung der BWG 1984 am Freitag, dem 11. Mai 1984 im Gewandhaus

Begrüßung und Bericht des Präsidenten

Hochansehnliche Festversammlung!

Namens der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft habe ich die Ehre, Sie auf unserer diesjährigen Feierlichen Jahresversammlung auf das herzlichste zu begrüßen und Ihnen für Ihr Erscheinen zu danken. An erster Stelle darf ich als Vertreter der Legislative die Mitglieder des Niedersächsischen Landtages und des Rates der Stadt Braunschweig, nämlich die Damen und Herren Herbst, Bürgermeister Dr. Lüpke, Grundmann, Kohl und Jung namentlich begrüßen sowie als Vertreter der Administration Herrn Ministerialdirigent Dr. Hodler für das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst, für die Bezirksregierung Braunschweig Herrn Regierungsvizepräsidenten Dr. Schnökel und für die Verwaltung der Stadt Braunschweig Herrn Stadtrat Wenzel.

Ihnen, meine Damen und Herren, hat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft über lange Jahre hinweg eine wohlwollende Förderung zu danken, die im Zeichen knapper öffentlicher Mittel freilich keinen Anlaß zu besonderem Jubel und hochgespannten Erwartungen bietet, die aber die Existenz unserer Gesellschaft bislang gesichert und verbessert hat. Bitte, erhalten Sie uns auch weiterhin Ihr Wohlwollen, wobei ich Sie zu berücksichtigen bitte, daß der wissenschaftliche Ruf unserer im In- und Ausland gleichermaßen angesehenen Gesellschaft auch auf unser Land Niedersachsen, auf die Region und vor allem auch auf die Stadt Braunschweig zurückstrahlt, was sich sicherlich nicht sogleich in besonderen regionalen oder lokalen Aktivitäten manifestieren mag, was aber schließlich doch zur Festigung dieses Raumes beitragen wird, der ja nicht zuletzt ein wissenschaftliches Zentrum ersten Ranges sein und bleiben will.

Mein Gruß und Dank gilt in diesem Jahr vor allem auch der Industrie- und Handelskammer Braunschweig. Sie hat uns aus einer ernsten Verlegenheit befreit, indem sie uns diesen Saal für unsere diesjährige Jahresfeier großzügig zur Verfügung gestellt hat. Unser traditionelles Tagungslokal, die Dornse des mittelalterlichen Altstadtrathauses, konnte uns wegen noch laufender Erneuerungs- und Umbauarbeiten nicht aufnehmen, indessen ist unser diesjähriges Tagungslokal trotz seines Renaissancegiebels in Teilen mindestens ebenso altherwürdig wie das gotische Altstadtrathaus.

Besonders begrüßen darf ich schließlich den Landesbischof von Hannover und Vorsitzenden der EKD, Herrn Prof. Dr. Lohse, für die Evangelisch-Lutherische Landeskirche Braunschweig Herrn Probst Jürgens.

Mein summarischer Gruß gilt sodann den Vertretern der Justiz, der Bundeswehr, des Bundesgrenzschutzes und der Polizei sowie den Vertretern der in Braunschweig wir-

kenden Bundes-, Landes- und städtischen Behörden, den Vertretern der politischen Parteien und Gewerkschaften, der Standes- und Berufsorganisationen, der Wirtschaft und der Massenmedien.

Besonders zu begrüßen habe ich wiederum die Vertreter der Wissenschaft, und dabei an erster Stelle den Präsidenten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Herrn Professor Dr. Franke, sowie den Altpräsidenten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Dr. Pirson. Ferner gilt mein Gruß dem Präsidenten unserer Braunschweigischen Technischen Universität Carolo-Wilhelmina, Herrn Prof. Dr. Rebe, und deren Ehrenbürger, Herrn Oehler, und Ehrensensator, Herrn Kaether, weiterhin dem Präsidenten der Georg-August-Universität Göttingen, Herrn Prof. Dr. Kamp, dem Rektor der Technischen Universität Clausthal, Herrn Prof. Dr. Schottlaender, und dem Vizepräsidenten der Universität Hannover, Herrn Prof. Dr. Rizkallah. Des weiteren gilt mein Gruß dem Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Herrn Prof. Dr. Kind, dem Präsidenten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Herrn Prof. Dr. Neander, und dem geschäftsführenden Direktor der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Herrn Prof. Dr. Klein. In diesem Zusammenhang darf ich auch die Vertreter wissenschaftsfördernder Institutionen nicht vergessen, und ich begrüße hiermit herzlich den Präsidenten des Braunschweigischen Hochschulbundes und zugleich Vorsitzenden des Vorstandes der Salzgitter-AG., Herrn Pieper, sowie als Vertreter der Stiftung Volkswagenwerk, Herrn Dr. Maurer.

Schließlich gilt mein besonderer Gruß auch den Herren Prof. Dr. Beneking, Aachen, und Prof. Dr. Krömer aus Santa Barbara, USA, die zusammen mit unserem Mitglied Prof. Dr. Leonhard an der diese Jahresversammlung begleitenden wissenschaftlichen Vortragstagung mitgewirkt haben, und nicht zuletzt begrüße ich die ordentlichen und korrespondierenden Mitglieder unserer Gesellschaft, darunter die Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille von 1981 und 1983, die Herren Prof. Dr. Kneser, Göttingen, und Prof. Dr. Dr. h. c. Leopold Müller, Salzburg.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Der Bericht, den ich nunmehr zu erstatten habe, erstreckt sich auf den Zeitraum seit der letzten Feierlichen Jahresversammlung, also vom 6. Mai 1983 bis zum heutigen Tage. Während dieser Zeit hatte unsere Gesellschaft 3 Todesfälle zu beklagen, es verstarben am 5. Mai 1983 in seinem 86. Lebensjahr der emeritierte **Prof. Dr.-Ing. Friedrich Johannsen**, seit 1953 zunächst ordentliches, später korrespondierendes Mitglied der BWG in der Klasse für Ingenieurwissenschaften. Prof. Johannsen war Ordinarius für Metallhüttenwesen und Elektrometallurgie an der Bergakademie Clausthal. Er war der Erfinder des Wälzverfahrens zur Zink- und Bleigewinnung wie auch des Rennverfahrens zur Eisengewinnung aus armen Erzen.

Am 24. Oktober 1983 verstarb in seinem 82. Lebensjahr das Mitglied der Rumänischen Akademie der Wissenschaften **Prof. Dr. Elie Carafoli**. Prof. Carafoli wurde 1970 mit der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille ausgezeichnet und 1975 zum korrespondierenden Mitglied der BWG berufen. Nach seinem Studium der Mathematik und Physik

hatte er mit seinen zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten maßgeblichen Anteil an der Entwicklung der Theorien der Gas- und der Aerodynamik.

Am 22. März 1984 verstarb in seinem 81. Lebensjahr der emeritierte **Prof. Dr. phil. Georg Niemeier**, seit 1959 zunächst ordentliches, und nach seinem Fortzug aus Braunschweig korrespondierendes Mitglied der BWG in der Klasse für Geisteswissenschaften. Der Verstorbene war ein auch international anerkannter Vertreter der Anthropogeographie. Er hat als Ordinarius und Direktor des Instituts für Geographie an der Technischen Hochschule Braunschweig zahlreiche siedlungsgeographische Untersuchungen vor allem auch im Norddeutschen Raum durchgeführt. Besonders bekannt geworden sind seine Arbeiten über Plaggenböden, deren Altersbestimmung er mit Hilfe der C14-Methode durchführte.

Sie haben sich zu Ehren der Verstorbenen von Ihren Plätzen erhoben, ich danke Ihnen.

Das zu einer Wahlversammlung zusammengetretene Plenum der Gesellschaft wählte am 9. Dezember 1983 zu ordentlichen Mitgliedern

in der **Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik**

Prof. Dr. phil. Henning Hopf, geschäftsführender Leiter im Institut für Organische Chemie der Technischen Universität Braunschweig,

Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Rohdenburg, Prof. im Institut für Geographie der Technischen Universität Braunschweig,

Prof. Dr. rer. nat. Christoph Schwink, geschäftsführender Leiter im Institut für Metallphysik und Nukleare Festkörperphysik der Technischen Universität Braunschweig;

in der **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Baehr, Prof. im Institut für Thermodynamik, Wärme- und Kältetechnik der Universität Hannover,

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Georg Musmann, Prof. im Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Universität Hannover;

in der **Klasse für Bauwissenschaften**

Prof. Dr.-Ing., Dr. h.c. Gottfried Konecny, Direktor des Instituts für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen der Universität Hannover,

Prof. Dr.-Ing. Ferdinand Rostásy, Prof. für Baustoffkunde und Stahlbetonbau an der Technischen Universität Braunschweig,

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wierig, Direktor des Instituts für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover.

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden gewählt

in der **Klasse für Bauwissenschaften**

Prof. Dr. techn., Dr. mont. h.c. Leopold Müller, Salzburg, emeritierter Honorar-Professor an der Universität Karlsruhe, Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille des Jahres 1983,

und in der **Klasse für Geisteswissenschaften**

Honorar-Professor Viktor H. Elbern, Direktor i. R. der Frühchristlich-Byzantinischen Sammlungen der Staatlichen Museen Preußischer Kulturbesitz, Berlin,

Prof. Dr. phil. Stanley Rosen, Prof. der Philosophie an der Pennsylvania State University/USA,

Prof. Dr. phil. Koichi Tsujimura, Direktor des Philosophischen Seminars der Kaiserlichen Universität Kyoto/Japan.

Nach diesen personellen Veränderungen verfügt die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft gegenwärtig über 121 ordentliche Mitglieder, von denen die 39 über 70jährigen auf die satzungsmäßige Höchstzahl von 110 ordentlichen Mitgliedern nicht anrechnen. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder beträgt zur Zeit 56.

Das Plenum der Gesellschaft trat während der Berichtszeit zu 8 wissenschaftlichen Sitzungen zusammen, wobei über makromolekulare Flüssigkeitskristalle, über Prinzipien und Möglichkeiten der Gentechnologie, über anisotrope Werkstoffeigenschaften verschiedener NE-Metalle, über den Einfluß der Mikroelektronik auf die moderne Entwicklung der Regelungstechnik, über Geschichte und Technik nicht spurgeführter Fahrzeuge, über die Möglichkeiten des schnellen Eisenbahnverkehrs, über die Studentensprache, die Anfänge der französischen Geschichte und über das Dritte Rom berichtet und diskutiert wurde.

Außerdem fanden 8 Klassensitzungen statt mit Themen zur Höherentwicklung in der Evolution, zum pflanzlichen Sekundärstoffwechsel und zur Coevolution, zu seelischen Vorgängen in der Antike und Neuzeit, zur Bedeutung des 12. und 13. Jahrhunderts für die Entwicklung der Kulturlandschaft Nordwestdeutschlands, zur Qualitäts- und Bedeutungsunterscheidung an mittelalterlicher Kunst und zu einem neu entdeckten Widmungstext Franz Kafkas.

Besondere Aktivitäten entfaltete wieder die 1981 begründete Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte. Nachdem sie schon im März 1983 eine wissenschaftliche Tagung über Probleme der Denkmalspflege durchgeführt hatte – ich berichtete im vergangenen Jahr darüber –, veranstaltete sie im Oktober 1983 ein dreitägiges Symposium über den gerade restaurierten Braunschweiger Burglöwen, für das der Herr Niedersächsische Ministerpräsident Dr. Albrecht die Schirmherrschaft übernommen hatte. Das außerordentlich gut, auch von ausländischen Fachgelehrten, besuchte Symposium wickelte ein reichhaltiges Vortrags- und Diskussionsprogramm ab, dessen Resultate demnächst veröffentlicht werden sollen. Die Kommission wird im Herbst dieses Jahres ein Symposium über Bernwardinische Kunst in Hildesheim durchführen, und sie bereitet schon jetzt für 1985 ein weiteres Symposium über das Evangelium Heinrichs des Löwen vor, das wiederum in Braunschweig abgehalten werden soll.

Und schließlich wurde von der Kommission ein auf 3 Jahre veranschlagtes Forschungsvorhaben „Barock in Niedersachsen“ fortgeführt, dessen erste Ergebnisse einen erfolgreichen Einstieg in dieses bisher nur wenig bearbeitete kunstgeschichtliche Thema versprechen.

In Vorbereitung befindet sich eine Kommission, die sich – von der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik getragen – mit den wissenschaftlichen Grundlagen der Biotechnologie befassen soll. Wann sie ihre Tätigkeit aufnehmen können, ist derzeit noch nicht zu übersehen.

An die breitere Öffentlichkeit trat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft in der Berichtszeit – abgesehen von der mit der Feierlichen Jahresversammlung 1983 verbundenen wissenschaftlichen Vortragsveranstaltung – mit 2 größeren Darbietungen, die beide aus dem Kreis der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte bestritten wurden, wobei die zweite gemeinsam mit dem Städtischen Museum Braunschweig geplant und abgewickelt wurde. Dabei sprach am 14. Oktober 1983 in einem breit angelegten und mit zahlreichen Lichtbildern illustrierten Vortrag das korrespondierende Mitglied unserer Gesellschaft, Prof. Dr. phil. Roberto Salvini, Florenz, über das Thema „Wiligelmus von Modena, einer der Begründer der romanischen Figurensprache“, und am 27. Oktober 1983 sprach der Vorsitzende der Klasse für Geisteswissenschaften und der genannten Kommission, Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch, über das gerade wieder nach Deutschland zurückgekehrte Evangeliar Heinrichs des Löwen.

Zur Veröffentlichung gelangten während der Berichtszeit Band XXXV der „Abhandlungen“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft sowie Band 1 der neu eröffneten Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte mit einer Arbeit von Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch: „Vom Oberrheinisch-sächsischen Weg der Kathedralgotik nach Deutschland“. Und nachdem sich herausgestellt hat, daß die in erster Linie für die Mitglieder der Gesellschaft bestimmten und bisher mit 2 Heften pro Jahr veröffentlichten „Sitzungsberichte und Mitteilungen“ ein breiteres Interesse gefunden hatten, wird die BWG in Zukunft alljährlich ein „Jahrbuch“ publizieren, das umfassend über die Tätigkeit der Gesellschaft berichten soll. Das Jahrbuch 1983 befindet sich derzeit bereits im Druck und wird in den nächsten Wochen erscheinen können.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft weist mit ihren Klassen für Ingenieurwissenschaften und für Bauwissenschaften deutliche, technikwissenschaftliche Schwerpunkte auf. Sie sieht sich deshalb auch durch die in der jüngsten Vergangenheit ausgelöste und in der Gegenwart fortdauernde öffentliche Diskussion über technische Entwicklungen und deren Folgen besonders angesprochen und gefordert. In diesem Zusammenhang ist freilich darauf hinzuweisen, daß es sicherlich zuviel verlangt ist, wenn der mit einer Aufgabe betraute Ingenieur mit deren Lösung zugleich auch alle möglichen oder auch nur denkbaren politischen, sozialen, ökonomischen und in die natürliche Umwelt wirkenden Folgen bedenken und werten soll. Dazu fehlen ihm in aller Regel die erforderlichen wissenschaftlichen Voraussetzungen in den ihm fremden Disziplinen. Hier kann eine wissenschaftliche Gesellschaft mit ihren fachlich sehr breit gestreuten Mitgliedern schon eher weiterführende Gedanken entwickeln,

wobei nicht übersehen werden sollte, daß das äußerst komplizierte und interdependent vielfältig verknüpfte Geflecht von natürlichen, technischen, ökonomischen, gesellschaftlichen, ja, auch politischen Ursachen und Wirkungen selbst für interdisziplinär optimal zusammengesetzte wissenschaftliche Gremien nur schwer durchschaubar ist.

Was indessen im Bereich der Wissenschaft immerhin noch diskutiert, untersucht und wenigstens teilweise aufgeklärt werden konnte, hat in der breiteren Öffentlichkeit zunehmend zu einem Gefühl der Hilflosigkeit gegenüber unverständlichen Zusammenhängen, ja, oft wohl auch zu einem Gefühl des Ausgeliefertseins an ein übermächtiges Geschehen geführt, das sich zunehmend zu einem allgemeinen Mißtrauen gegen moderne technische Entwicklungen verdichtet hat.

Die Rede ist hier – sieht man von der nicht weniger umstrittenen Nutzung der Kernenergie einmal ab – von den sich beinahe überstürzenden Entwicklungen der Mikroelektronik und ihren Anwendungsbereichen. Sie hat einerseits zu umfangsmäßig immer kleineren, aber leistungsmäßig immer potenteren Apparaten, den Computern geführt, die als Rechenanlagen auch bisher nicht zu bewältigende Aufgaben in immer kürzerer Zeit zu lösen vermögen. Weiterhin hat die Mikroelektronik zu außerordentlichen Fortschritten in den Kommunikationstechniken geführt, und schließlich sind mit ihrer Hilfe ganz neue Arbeitsmaschinen, die Industrieroboter, entstanden, die zur Durchführung auch komplizierterer Arbeitsgänge in der Lage sind. Solange es sich dabei nur um die Verbesserung der Kommunikationstechniken oder um die Ermöglichung spektakulärer Unternehmungen, wie etwa der Raumfahrt, handelte, wurden die diesen zugrunde liegenden technischen Innovationen noch allgemein mit respektvollem Staunen und Beifall aufgenommen. Sobald sich indessen herausstellte, daß ganz neuartige Arbeitsautomaten die bisher von Menschenhand zu verrichtenden Arbeiten weit mehr als bisher zu erledigen geeignet waren, entstand schnell die Vision von menschenleeren Werkhallen, in denen bizarr anmutende Roboter von verborgenen Befehlen gelenkt und unsichtbaren Kräften getrieben ihr gespenstisches Wesen treiben. Und sogleich machte, nicht zuletzt auch unter dem Eindruck der aus der Wirtschaftskrise erwachsenen Massenarbeitslosigkeit das Schlagwort von den „Job-Killern“ die Runde, deren drohender Gefahr es zu begegnen galt.

Bedeutende technische Innovationen sind nun freilich zu allen Zeiten einem bis zur totalen Ablehnung gehenden Mißtrauen begegnet, ob es sich nun um den mechanischen Webstuhl, die Eisenbahn, das Kraftfahrzeug oder die Luftfahrt handelte. Aber soweit diesen Neuerungen die Vernichtung althergebrachter Arbeitsplätze angelastet wurde wie jetzt wieder den Industrierobotern, galt es unter Fachleuten doch als ausgemacht, daß gerade durch die Innovationen wieder neue Arbeitsplätze geschaffen werden, wobei per Saldo oft sogar mehr Arbeitsplätze als zuvor zur Verfügung stehen. Im Prinzip wird dies sicherlich auch hinsichtlich der Industrieroboter gelten, allerdings darf in diesem Zusammenhang nicht nur die Quantität, sondern vor allem auch die Qualität der Arbeitsplätze nicht außer acht gelassen werden. Während der technischen Entwicklung der vergangenen wenigstens zwei Jahrhunderte hat sich nämlich der Charakter der jeweils zur Verfügung stehenden Arbeitsplätze kontinuierlich verändert. Dabei haben sich die einfachen, das heißt auch von ungelernten Arbeitskräften auszu-

führenden Arbeiten laufend verringert und sind zum Teil schließlich sogar ganz verschwunden, während für die aus der technischen Entwicklung resultierenden, neuen Arbeitsplätze weit höhere Anforderungen an die ausführenden Arbeitskräfte gestellt wurden. Gefragt ist immer mehr der mit einem genügend breiten Grundwissen ausgestattete, in einem Lehrberuf ausgebildete und relativ leicht und vielseitig zu spezialisierende Facharbeiter. Daß die für die Konstruktion, Einrichtung, Bedienung, Wartung und Reparatur der Industrieroboter und anderer auf der Basis der Mikroelektronik entwickelter Apparate und Geräte benötigten Fach-Arbeitskräfte besonders qualifiziert sein müssen, bedarf im Hinblick auf die Kompliziertheit der in Frage stehenden technischen Einrichtungen keiner besonderen Begründung.

Damit stellt sich aber sogleich die Frage, ob hierfür überhaupt genügend ausreichend qualifizierte Arbeitskräfte zur Verfügung stehen werden. Angesichts von immerhin noch rund 2 Millionen Arbeitslosen sollte man meinen, daß dies keine Schwierigkeiten bereiten dürfte, die Wirklichkeit sieht indessen etwas anders aus. Bei näherer Betrachtung zeigt sich nämlich, daß ein Großteil der heute Arbeitslosen aus un- oder nur angelernten Arbeitern sowie Angehörigen aus nicht mehr gefragten Berufen besteht, während die Arbeitsplätze qualifizierter Facharbeiter – von einzelnen Branchen abgesehen – weitgehend erhalten geblieben sind, orts- und fachgebietsweise besteht sogar schon wieder ein Mangel an qualifizierten Facharbeitern.

Da für neue Techniken ad hoc also kaum genügend einsatzfähige Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, wird zu fragen sein, ob eine genügende Anzahl durch entsprechende Ausbildung oder auch Umschulung bereitgestellt werden kann. Das aber spitzt sich auf die sehr umstrittene Frage zu, ob jeder normale Mensch – die notwendigen Bildungs- und Ausbildungseinrichtungen vorausgesetzt – alles vom Arbeitsmarkt Nachgefragte auch erlernen kann, oder ob es hier weit verbreitete Grenzen gibt, die gar nicht oder nur sehr schwer überwunden werden können.

Auf jeden Fall beginnt hinsichtlich der nachrückenden Generation bereits eine breite Bewegung deutlich zu werden, in deren Rahmen die Lehr- und Ausbildungsstellen, die zur Zeit des Arbeitskräftemangels praktisch jedem offen standen, zunehmend von bildungsmäßig höher qualifizierten Schulabsolventen – Realschülern oder sogar Abiturienten – okkupiert werden.

Für die erste Phase des durch die genannten technischen Innovationen in Gang gesetzten Strukturwandels – viele sprechen auch von einer „Dritten industriellen Revolution“ – werden wohl noch genügend qualifizierte Arbeitskräfte heranwachsen, ob dies für eine ganz neue technisch-industrielle Welt auch in Zukunft noch der Fall sein wird, muß vorerst eine offene Frage bleiben.

Natürlich wird auch zu fragen sein – und dies geschieht in der jungen Generation immer häufiger und drängender –, ob man diese in – „stato nascendi“ befindliche Neue Welt denn überhaupt will, und ob es nicht besser wäre, zu älteren technischen Wirtschaftsformen zurückzukehren. Im Prinzip wäre dies selbstverständlich möglich, allerdings nur dann, wenn einige wichtige Prämissen gegeben wären. Zum einen müßte die Bevölkerungszahl drastisch zurückgefahren werden, und darüber hinaus wäre ein ganz erheblicher Konsumverzicht in sehr vielen Bereichen unabdingbar, was

zu kaum noch vorstellbaren, negativen Veränderungen unserer Daseinsbedingungen führen würde. Des weiteren ist in diesem Zusammenhang zu bedenken, daß unser Land ja nicht isoliert und unabhängig von der übrigen Welt existiert. Wir Älteren haben das Streben nach wirtschaftlicher Unabhängigkeit, nach Autarkie, bei geringeren Bevölkerungszahlen, besseren natürlichen Grundlagen und weitaus bescheideneren Konsumansprüchen ja noch erlebt und scheitern sehen, ein neuerlicher Versuch würde schnell ad absurdum geführt werden. Wenn wir unseren Bevölkerungsstatus und unseren erreichten Lebensstandard auch nur einigermaßen aufrechterhalten wollen, müssen wir auf dem Weltmarkt präsent und konkurrenzfähig sein. Das geht aber nur, wenn wir bei durchsetzbaren Produktenpreisen, unbedingter Liefertreue ein hohes technisches Niveau behaupten können. Die Bundesrepublik muß zur Erhaltung ihres erreichten Status ca. 25 bis 30% ihrer Produktion exportieren, der Weg in die Zukunft kann also nicht in die technische Vergangenheit, er muß zwangsläufig in die technische Zukunft führen.

Gewiß können und werden technische Innovationen unter bestimmten Umständen auch Nachteile mit sich bringen. Solche Nachteile zu vermeiden, ist eine der wichtigsten Zukunftsaufgaben gerade auch der Technik selbst. Ihre Disziplinen müssen sich durch vorausschauende Überlegungen und die entsprechende Gestaltung von Produktionsprozessen maßgeblich an der Beseitigung schon bestehender und an der Vermeidung möglicher neuer Nachteile beteiligen. Grundsätzlich wird man dabei wohl davon ausgehen dürfen, daß durch Technik hervorgerufene Mängel auch durch Technik wieder beseitigt werden können.

Im übrigen ist eine generelle Übernahme der bisher von Menschenhand auszuführenden Arbeiten durch Industrieroboter kaum zu befürchten. Es ist der Ingenieurkunst zwar durchaus zuzutrauen, daß sie alle denkbaren menschlichen Arbeitsverrichtungen auf technische Geräte, Arbeitsmaschinen, Industrieroboter übertragen kann. Solche Möglichkeiten können aber nur dann zum industriellen oder gewerblichen Einsatz gelangen, wenn sich dies ökonomisch auch rechtfertigen läßt. Die komplizierten Industrieroboter sind im allgemeinen nämlich sehr teure Einrichtungen, sie können nur dann mit Erfolg eingesetzt werden, wenn sie genügend umfangreiche und weitgehend zu schematisierende Arbeitsaufgaben billiger erledigen können als menschliche Arbeitskräfte. In vielen Fällen wird die menschliche Arbeitskraft trotz hoher und steigender Löhne nämlich immer noch billiger sein als die aus Verzinsung und Tilgung des Beschaffungskapitals sowie die aus Ersatzteilbeschaffung, Reparatur-, Energie- und Hilfsstoffbedarf resultierenden Einsatzkosten.

Der von immer mehr Beeinträchtigungen seines Lebens geplagte und zunehmend verunsicherte Mensch ist nur allzu schnell zu globalen Schuldzuweisungen bereit. Und wenn man heute einen Blick auf die Massenmedien richtet, vernimmt man eigentlich nur Klagen über durch Technik begründete Mängel, über rücksichtslose, menschenverachtende Ausnutzung technischer und ökonomischer Möglichkeiten. Der Hinweis auf Mängel ist sicherlich eine wichtige Aufgabe und Funktion der Massenmedien, man möchte allerdings von ihnen ab und an auch einmal daran erinnert werden, welche großen Verbesserungen unsere Daseinsbedingungen uns eben jene oftmals bis zur Ver-

teufelung verdamnte und mindestens mißtrauisch belauerte Technik beschert hat. Fortschritte werden bekanntlich schnell akzeptiert, und sie geraten – schnell vergessen – sehr bald zu Selbstverständlichkeiten, über die zu reden es sich eigentlich nicht lohnt. Wer denkt schon heute noch daran, daß unsere Lebenserwartung in den knapp 200 Jahren unserer modernen technischen Welt um Jahrzehnte gewachsen ist, daß wir uns unvergleichlich besser ernähren, uns besser kleiden und besser wohnen als vor dieser Zeit, daß die zur Erhaltung unseres Lebens erforderliche Arbeit wesentlich leichter und zeitlich erheblich kürzer geworden ist, so daß wir über früher ganz unbekannte tägliche und jährliche Freizeiten verfügen, die wir weitgehend nach unseren Wünschen ausfüllen können. Die ganze Welt steht uns offen, wir – und dieses wir umschließt breiteste Bevölkerungsbereiche – können fremde Länder kennenlernen, deren Namen früher kaum bekannt waren, und durch das private Kraftfahrzeug, das einen so schnellen Ortswechsel ermöglicht, hat sich unser Leben – über seine biologische Verlängerung hinaus – durch die gesteigerte Erlebnisdichte praktisch wenigstens verdreifacht. Noch leben Reste der alten Generation, die 2 Weltkriege und Nachkriegszeiten, die große Weltwirtschaftskrise und die mageren 30er Jahre wachen Auges durchlebt haben. Sie können nur warnen vor dem Versuch, das Erreichte aufzugeben und sich in ein nur literarisch attraktives „Einfaches Leben“ zurückzuziehen, das realiter kaum jemand leben möchte und das auch nur wenige überhaupt durchstehen würden. Mängel und Auswüchse – auch technisch bedingte – können und müssen bekämpft und inhibiert werden, unser politisches, gesellschaftliches, ökonomisches und technisches Rüstzeug reicht gewiß aus, um Fehlentwicklungen weitgehend zu vermeiden, Schäden zu heilen und auch eine technische Welt menschlich im Sinne eines friedlichen und humanen Daseins zu gestalten.

Mit Blick voraus hat deshalb das Konzil der BWG als das für die Verleihung zuständige Gesellschaftsorgan die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille dieses Jahres 1984 einem Gelehrten aus einer technischen Disziplin verliehen, dessen Wirken dem modernsten wissenschaftlichen Bereich der Technik, der Mikroelektronik, gewidmet war und ist, und ich darf nunmehr den Vertreter unserer Klasse für Ingenieurwissenschaften, Herrn Prof. Dr. Lautz bitten, die Laudatio für den hier und heute zu ehrenden Prof. Dr. rer. nat. Heinz Beneking zu sprechen.

Laudatio

Von **Professor Dr. rer. nat. Günter Lautz**

Lieber Herr Beneking,
meine sehr verehrten Damen und Herren,

das Wort "Mikroelektronik" ist heute in vieler Munde. Sein begrifflicher Gehalt wird sehr unterschiedlich gesehen, sogar bei den ingenieurwissenschaftlichen Fachleuten. Die technische Entwicklung hat die Bemühungen um die inhaltliche Definition dessen, was „Elektronik“ sein soll, in den letzten Jahrzehnten nicht erleichtert: Die häusliche Stereoanlage, der Großrechner, die Schalt- und Steuerungseinrichtungen eines Atomkraftwerks, die Kontrollgeräte eines Raumflugkörpers gehören gewiß in diesen Bereich, doch rechnen Entwicklungsingenieure und Naturwissenschaftler, die sich mit den technologisch präparativen Aufgaben zur Erzeugung der Bauelemente und Bauelementgruppen beschäftigen, aus denen die für die praktische Anwendung erforderlichen elektrischen Schaltkreise zusammengesetzt sein können, auch ihre Tätigkeit dem Gebiet der Halbleiter- oder Festkörperelektronik zugehörig.

Konnte man noch in den 50er Jahren die Festlegung, was Elektronik sein oder bedeuten sollte, in der Weise versuchen, daß als eine Spezies „physikalische Elektronik“ die Technik der Bauelemente, d.h. von Komponenten, in denen die Bewegung von Elektronen im Vakuum, in Gasen oder in Festkörpern in irgendeiner Weise gesteuert wird, und daneben eine Schaltungstechnik unter Verwendung dieser Elemente als eigentliche „Elektronik“ anzusehen seien, mußten eine derartige Unterteilung und eine solche Abgrenzung scheitern, nachdem durch Forschungsarbeiten von Männern wie Heinz Beneking integrierte Schaltungen entwickelt worden sind und weiterentwickelt worden sind und weiterentwickelt werden, die eine Vielzahl von miteinander verkoppelten Einzelelementen (über 1000000 pro Halbleiterplättchen), in einem einheitlichen Arbeitsgang mit mehreren Prozeßschritten hergestellt, auf einem ein-kristallinen Träger enthalten und bei denen das Schaltungskonzept und die Funktion der einzelnen Steuerelemente nicht mehr unabhängig voneinander betrachtet werden können. Erklärt man, wie es in der Vergangenheit geschah, nach diesem vergeblichen Versuch einer engen Eingrenzung des Begriffs Elektronik diese nunmehr allgemeiner als eine Disziplin, die sich mit dem Aufbau, der Wirkungsweise und der Entwicklung von elektrischen Geräten und deren Bauelementen befaßt, die zur Fortleitung elektromagnetischer Energie zum Zwecke der Informationsübertragung dienen, muß man heute, um auch den Fortschritt in der Starkstromtechnik durch den Einsatz von elektronischen Baugruppen bei der Steuerung, Schaltung und regelnden Kontrolle großer Energien mitzuerfassen, zusätzlich von einer Leistungselektronik sprechen.

Bereitet eine genaue Inhaltsdefinition schon den Fachleuten Schwierigkeiten, ist es nicht verwunderlich, wenn die Wertung dieses Bereichs der modernen Technik in der

Öffentlichkeit, häufig mit subjektiven Ansichten beladen und nur aus einem engen Kreis persönlicher Erfahrungen gesehen, von der begeisterten Zustimmung zu einem sich ständig beschleunigenden Fortschritt, der alles Denkbare in die Realität umzusetzen erlaubt, der zu einer scheinbar unbegrenzten Humanisierung unserer Arbeitswelt führen könnte, bis zur absoluten Verdammung einer durch die Elektronik, also durch etwas Unmenschliches, beherrschten zivilisatorischen Welt, wie sie in Orwells Roman „1984“ stimmungsmäßig eingefangen ist und wie sie u. a. durch das Schlagwort „Jobkiller“ angeprangert wird.

Tatsächlich sind die Auswirkungen des vermehrten Einsatzes der Elektronik tiefgreifend und von kaum zu überschätzender soziologischer Bedeutung. Kleinrechner und Mikroprozessoren hoher Leistungsfähigkeit nehmen dem Menschen Routine-Aufgaben (Büro, Bank, Verkehrswesen, Lagerhaltung, Nachrichtenübermittlung, Haushalt etc.) ab und vermehren in eben diesem Maß die individuellen Möglichkeiten zu kreativer Tätigkeit. Diese Chance zu nutzen, wird zur drängenden Zukunftsaufgabe, da die Idee, ein Land wie das unsere könne einer weitergehenden technologischen und technischen Entwicklung entsagen, als Utopie anzusehen ist. Der Übergang vom homo faber zum homo ludens ist mit erheblichen Problemen belastet, man denke nur an die Umwandlung von Arbeitsplätzen und die daraus resultierende Forderung nach entsprechender Mobilität. Kritiker sollten nicht vergessen, daß neue Berufsfelder aus Innovationen geboren werden, die durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung entstanden sind und entstehen. Unter den ca. 25000 Anwendungen der Elektronik befinden sich auch Einrichtungen zur Verringerung des Energieverbrauchs, z. B. durch Regelung von Heizung und Licht, von Kraftstoffflüssen, von Ampelanlagen oder durch die Optimierung von industriellen Produktionsabläufen. Der Forschung werden durch Mikroprozessoren und Computer neue Untersuchungsgebiete zugänglich, die mittelbar oder unmittelbar dem Menschen dienen. Besonders augenfällig wird dieses in der Medizin; dem makabren Bild des nur noch mit Geräten aufrecht erhaltenen Lebens auf der Intensivstation stehen viele uneingeschränkte positiv zu bewertende Einsatzmöglichkeiten der Elektronik gegenüber: Hörhilfen, Herzschrittmacher, Laserstrahlen als Hilfsmittel der Chirurgie und andere.

Die Fortentwicklung der Elektronik fordert – und das könnte schon aus den begrifflichen Abgrenzungsbemühungen deutlich geworden sein – die Kooperation des Elektroingenieurs mit dem Physiker, dem Werkstoffkundler, dem Chemiker; sie zwingt zu interdisziplinärem Wirken und Tun. Sie fordert unter dem Aspekt ihrer Folgewirkungen, daß sich die beteiligten Naturwissenschaftler und Ingenieure der schweren und verantwortungsvollen Bürde bewußt bleiben, die schnelle und absehbare Ausweitung dieses jeden Einzelnen berührenden Bereichs der Technik zum Wohle der Menschheit zu gestalten und Schaden abzuwehren.

Einen Wissenschaftler, einen Forscher zu ehren, der sich dieser ethischen Forderung der Gemeinschaft stets bewußt geblieben ist, dem es in optimaler Weise gelang, grundlegende Erkenntnisse aus der Festkörperphysik in elektrotechnische Anwendungen umzusetzen, dabei Theorie und Praxis miteinander zu verbinden, der mit bewundernswertem Ideenreichtum in der Technologie, in der Meßtechnik die notwendigen

Voraussetzungen geschaffen hat, um immer höhere Integrationsgrade bei elektronischen Schaltkreisen zu erreichen, um die lateralen Abmessungen einzelner Funktionsgruppen zu verringern und die Schnelligkeit, die Reaktionsfähigkeit einer Schaltung zu erhöhen, die Frequenzgrenze ihres Einsatzes bis in den Bereich des sichtbaren Lichtes zu steigern und damit die sogenannte Optoelektronik wesentlich zu stimulieren, ist eine schöne und beglückende Aufgabe, ermöglicht sie doch allen an diesem Festakt Beteiligten, in der geschäftigen Hektik des Alltags ein wenig innezuhalten, um die Gedanken größeren Zusammenhängen zuzuwenden, vielleicht auch um eigene Orientierungspunkte zu finden.

Heinz Beneking, ordentlicher Professor an der T.H. Aachen, Direktor des Instituts für Halbleitertechnik, dem unumstrittenen Kernbereich der Elektronik zugehörig, wurde am 28.3.1924 in Frankfurt/M. geboren, bestand 1942 die Reifeprüfung und begann in unmittelbarem Anschluß daran das Studium der Physik an der Universität Frankfurt, das er nach einer dreijährigen Unterbrechung durch Kriegsdienst ab 1945 an der Universität Hamburg fortsetzte. Aus der Tatsache, daß er seine Diplomarbeit bei Prof. Kollath anfertigte und schon 1954 mit einer Arbeit über dynamische Sekundärelektronenvervielfacher bei Prof. Möller promovierte, ist zu schließen, daß Herr Beneking schon damals zügig zu arbeiten verstand, daß seine Neigungen der angewandten Physik und insbesondere der Bewegung von Elektronen galt. Es erscheint daher nur als konsequent, wenn es ihn nach dem Doktorexamen in die Praxis zog und er seine Tätigkeit als technischer Mitarbeiter beim NWDR und kurz darauf als Entwicklungsingenieur bei der Firma Telefunken in Ulm aufnahm. Offensichtlich war hier der Kontakt zu Prof. Malsch für die weitere Arbeitsrichtung bestimmend. Malsch bemühte sich, bei Telefunken der während der Kriegs- und unmittelbaren Nachkriegszeit in den USA außerordentlich gut entwickelten Halbleitertechnik, vom damaligen Standpunkte aus also, dem praktischen Einsatz von Germaniumdioden und -transistoren zur Gleichrichtung, Steuerung und Verstärkung elektrischer Ströme resp. Signale Geltung zu verschaffen, ein mühsames Unterfangen, weil sich die Entwicklungsingenieure eines Röhrenwerkes wegen der anfangs bei den neuen Halbleiterbauelementen infolge der technischen Mängel der Herstellungseinrichtungen und der methodischen Unvollkommenheiten der Präparationsverfahren beobachteten schlechten Reproduzierbarkeit und mangelhaften zeitlichen Konstanz der geforderten Eigenschaften nur schwer davon überzeugen lassen wollten, daß ein Transistor ein vollkommener, sogar besserer Ersatz für die gute Radioröhre sein sollte. Heute ist die Röhre bis auf wenige spezielle Anwendungsbereiche praktisch verschwunden. Dabei hat man gelernt, daß neue Bauelemente nicht einfach gegen alte Teile ausgetauscht werden können; vielmehr sind neue Schaltungskonzepte für einen optimalen Einsatz erforderlich.

Die Arbeiten von Herrn Beneking aus der Ulmer Zeit spiegeln diese Probleme und Fragestellungen. Da finden wir allgemeinere Aufsätze über Transistoren, deren Kennwerte und Eigenschaften, da lesen wir von Sperrschichten in Germanium, von Gleichstrommeßverstärkern mit Transistoren, von Analogien zwischen Röhre und Transistor, u. a. Die verschiedenen Darstellungen lassen erkennen, daß man schon im Begriff ist, sich von der Röhre als Maßstab zu trennen, daß man den neuen Elementen ein eigenes

Leben zubilligen will und daß der Autor über ein gutes didaktisches Geschick verfügt, das er später in seinen 10 Büchern und Buchbeiträgen so vorzüglich einzusetzen versteht und das ihm 1979 auch den Preis des Bundesministeriums für Forschung und Technologie für die allgemeinverständliche Darstellung eines wissenschaftlichen Themas einbringt.

1954 ging Heinz Beneking zu Prof. Döring an das Institut für Hochfrequenztechnik nach Aachen, wo er sich 1956 habilitierte und ab 1957 eine selbständige Dozentur für Transistortechnik übernahm. In dieser Zeit weitete Herr Beneking seine Forschungsarbeiten auf das Hochfrequenzverhalten von Dioden und Transistoren aus. Derartige Untersuchungen experimenteller und theoretischer Art waren ein Gebot der Stunde, hatte man doch gerade bei hohen Frequenzen mit dem Einsatz der neuen Bauelemente nicht leicht zu lösende Probleme.

Ein Intermezzo sah Herrn Beneking 1960/61 noch einmal in der Industrie, wieder bei der Firma Telefunken, dieses Mal als Leiter der Meßabteilung in der Arbeitsgruppe Halbleiter-Verfahrens- und System-Entwicklung. Bei dieser Tätigkeit wurde die letzte Stütze des Fundamentes gefestigt, auf dem seit 1961, dem Jahr der Berufung als Professor auf einen Lehrstuhl für Transistortechnik, später in Halbleitertechnik umbenannt, bedeutsame Forschungsarbeiten zur Mikroelektronik entstanden.

Der weitere Lebensweg von Heinz Beneking verläuft nahezu phasensynchron – so wird es der Ingenieur bezeichnen – mit der historischen Entwicklung der Festkörperelektronik. Das ist nicht verwunderlich, wenn daran erinnert wird, daß hier ein Wissenschaftler in allen entscheidenden Stadien dieser zeitlichen Abfolge wesentliche Beiträge gegeben und so stimulierend gewirkt hat. Auf der Materialseite wurde der Übergang vom Germanium zum Silizium mit der Möglichkeit, Oberflächenpassivierungen vorzunehmen und damit zeitlich stabile und reproduzierbare elektrische Eigenschaften zu erreichen, vollzogen; sodann kam die Einführung binärer (III-V)-Verbindungen mit anderen Beweglichkeiten und Anregungsenergien zur Befreiung der Ladungsträger, wie beim InSb, GaAs, GaP u. a.; und schließlich weitete man die Mannigfaltigkeit der Materialien auf die ternären und quaternären Systeme aus diesen Verbindungen aus.

Eine solche Ausdehnung der Forschung ist auch in anderen Bereichen nicht unbekannt. Hermann Hesse verallgemeinerte schon zu der Feststellung:

„Alles Wissen und alle Vermehrung unseres Wissens endet nicht mit einem Schlußpunkt, sondern mit Fragezeichen. Ein Plus an Wissen bedeutet ein Plus an Fragestellungen, und jede von ihnen wird immer wieder von neuen Fragestellungen abgelöst.“

In der Originalhandschrift von Herrn Beneking sieht der zitierte Trend z. B. so aus: 1970 (Höhepunkt der Silizium-Technologie): „Drift velocity saturation in MOS transistors“ oder 1975 (Einsatz von III-V-Verbindungen): „Der GaAs-Schottky-Kontakt-Feldeffekttransistor als ps-Schalter für mittlere Leistungen“ oder 1981 (Bemühungen um ternäre/quaternäre Systeme): „LPE growth of $Ga_xIn_{1-x}As$ layers on InP under PH_3 partial pressure and results of Mg-doping“. Das sind Arbeitstitel, unter denen sich der

Laie nicht sehr viel vorstellen kann, die einer eingehenden Erklärung bedürfen, auf die hier verzichtet sei; dennoch wird auch der fachlich Fernerstehende erahnen, daß bei diesen Untersuchungen eine besonders gelungene Symbiose von Physik, Elektrotechnik und Technologie den praktischen Erfolg maßgeblich bestimmt.

Welche Vorteile bringen diese neuen, sehr viel komplizierteren Materialien, und welche neuen Anwendungsfelder eröffnen sie? Vom Silizium als Grundstoff war bekannt, daß die geringe Elektronenbeweglichkeit bei der Heraufsetzung der Schaltgeschwindigkeiten einen begrenzenden Einfluß haben würde und die Energiebandstruktur – Si ist ein indirekter Halbleiter – die Entwicklung von Licht emittierenden Dioden mit hohem Wirkungsgrad oder gar Laser-Dioden ausschloß. Die binären, ternären und quaternären Verbindungen zeigen mindestens teilweise höhere Beweglichkeiten und eine Eignung als Ausgangsmaterial für Halbleiter-Laser, Fotodetektoren und schnelle Transistoren.

Mit diesen Substanzen lassen sich die für die Anwendung wichtigen Parameter Bandabstand und Gitterkonstante unabhängig voneinander durch die Stoffauswahl für eine bestimmte Sende-, Schalt-, Verstärker- oder Sensorfunktion optimal einstellen. Es ist möglich, in einkristallinen Gittern, Heteroübergänge mit besonderen Eigenschaften zu erzeugen, die vor allem für die Optoelektronik große Bedeutung haben. Ohne diese Stoffe hätte die Optoelektronik einen rein akademischen Charakter. Durch ihren technischen Einsatz wird es gelingen, elektrische Informationen in Lichtimpulse umzusetzen, diese durch Glasfasern fortzuleiten und auf der Empfängerseite in elektrische Signale zurückzuverwandeln. Die Glasfaser ausgenommen, finden sich alle diese Entwicklungsstadien im Schriftenverzeichnis und in der Liste der Patente von Herrn Beneking wieder. Das Studium seiner Arbeiten verdeutlicht, welche Erfindungsgabe, welches experimentelles Geschick, welches Können notwendig sind, um diese Ziele zu erreichen. Neue präparative Verfahren mußten konzipiert und realisiert werden, neue Meßtechniken waren aufzubauen, vorhandene in ihren Genauigkeiten zu verbessern.

Eine weitere Entwicklungslinie, zu der Herr Beneking wesentliche Beiträge geleistet hat, ist in der Verkleinerung der Bauelemente und in enger Verbindung damit in der integrierenden Zusammenfassung von Einzelelementen zu Gruppen zu erkennen. Betrug Anfang der 50er Jahre die Querschnittsfläche einer Flächendiode oder eines Flächentransistors auch bei kleinen Leistungen größenordnungsmäßig noch mm^2 , liegen die linearen Abmessungen heutiger Mikrostrukturen in einzelnen Labormustern der Aachener Arbeitsgruppen bei 50 nm; 10 nm werden angestrebt. Hinter diesen Daten verbirgt sich der Übergang von den Legierungsverfahren zur Erzeugung von Halbleitern mit einem bestimmten Ladungsträgertyp zu den aus Lösungen oder aus der Dampfphase auskristallisierten oder durch chemische Reaktionen bei niedrigeren Temperaturen auf einem Substrat abgeschiedenen epitaktischen Schichten und deren Strukturierung mit lichtoptischen und elektronenoptischen Belichtungsverfahren, mit deren Hilfe in einer photoempfindlichen Schicht die gewünschte Anordnung fixiert wird, die nach der fotografischen Entwicklung unterschiedliche physikalische Beeinflussungen der oberflächennahen Bereiche und damit verschiedenartige elektrische Eigenschaften zulassen.

Die Verkleinerung der Schaltkreis- und Bauelementestrukturen bedeutet nicht nur geringen Platzbedarf und höhere Packungsdichte, sie bringt auch mit den kürzeren Wegen geringere Laufzeiten der Ladungsträger und geringere Verlustleistungsdichten; je kleiner die Transitzeiten sind, bei um so höheren Frequenzen sind die Baugruppen einsetzbar.

In der wohlgedachten und glücklichen Kombination der angesprochenen Forschungsinitiativen hat Herr Beneking mit seinen Mitarbeitern dem technischen Fortschritt auf dem Wege zur integrierten Optik wichtige Impulse gegeben.

In welchem Ausmaß in der Mikroelektronik in den vergangenen Jahrzehnten neue Wege beschritten worden sind, möge eine beispielhafte Gegenüberstellung verdeutlichen: 1946 wurde unter großer Anteilnahme der wissenschaftlichen Öffentlichkeit in den USA der erste Großrechner ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) in Betrieb genommen. Mit 17000 Röhren und einem Eigengewicht von 30 t wurde dieses Mammutgebilde in einem klimatisierten Saal mit Abzugskaminen installiert; die Verlustleistung des Rechners betrug 174 kW, der Leistungsbedarf der Klimaanlage lag darüber; für einzelne Rechenoperationen wurden ms benötigt, die Fehlerfreiheit erreichte nur 45%. In diese Situation gehört ein Ausspruch von Thomas J. Watson, dem Gründer der Firma IBM: „Vorläufig rechne ich mit einem Weltmarktbedarf von ungefähr fünf (Groß)Computern.“ In moderner Technologie würde eine mathematisch gleich leistungsfähige Einrichtung auf einer handtellergroßen Halbleiterscheibe Platz finden, die Operationszeit bliebe unter 100 ns, der Leistungsbedarf läge unter 100 W. Und das wird im Jahre 2000 nicht mehr Stand der Miniaturisierung sein.

Versucht man vor diesem allgemeineren Hintergrund eine relative Wertung dessen, was in dem Aachener Institut erreicht wurde, läßt sich generell feststellen, daß Heinz Beneking und seine Arbeitsgruppen gegenüber konkurrierenden Laboratorien in der Verkleinerung der Strukturen meist etwas kleiner, in der Schnelligkeit ihrer Funktionsabläufe meist etwas schneller und im Leistungsumsatz, in der Effektivität meist etwas besser waren. Fast ist man an die Fabel vom Igel und Hasen erinnert, wenn andere mit ihren Ergebnissen einem Beneking'schen „Ich bin schon da!“ begegneten, nur daß in diesem Fall die Igelin an der Aktion nicht beteiligt war, es war stets ein echter Wettlauf.

Zur Jahreswende 1983/84 hat das renommierte Institute of Electrical and Electronic Engineers (USA) Herrn Beneking mit der IEEE-Fellow-Chip ausgezeichnet, „for innovation in the field of compound semiconductor technology and devices, especially for work on heterostructure bipolar transistors“, wie es in der Begründung heißt. Hier wird das Besondere des Besonderen aus der Arbeit des Geehrten international anerkannt und herausgestellt. Heinz Beneking hat wiederum früher als andere die Bedeutung der Heteroübergänge außerhalb der reinen Laser-Entwicklung erkannt, die notwendigen präparativen Verfahren ersonnen und u. a. bipolare Transistoren auf GaAs-Basis für mittlere Leistungen, Festkörperbildwandler, die aus der Kombination eines mit einer lichtemittierenden Diode integrierten Fototransistors bestehen, und weitere elektronische Funktionsgruppen mit GaAlAs/GaAs realisiert und in ihren Eigenschaften optimiert. Im Fall des Bildwandlers mußten dazu auf einem GaAs-Substrat ein-

kristallin und ohne Aufbaufehler, ohne zwischengelagerte Verunreinigungen, außer einem metallischen Deckkontakt folgende 8 Schichten mit vorgegebenen Dotierstoffmengen aufgebracht werden: $2,5\ \mu\text{m}\ \text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{As}$ ($5\cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ n-dotiert), $0,3\ \mu\text{m}\ \text{GaAs}$ ($5\cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ p-dotiert), $1,5\ \mu\text{m}\ \text{GaAs}$ (undotiert), $10\ \mu\text{m}\ \text{Ga}_{0,85}\text{Al}_{0,15}\text{As}$ ($5\cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ n-dotiert), $2,5\ \mu\text{m}\ \text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$ ($5\cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ n-dotiert), $0,7\ \mu\text{m}\ \text{Ga}_{0,68}\text{Al}_{0,32}\text{As}$ (undotiert), $1,3\ \mu\text{m}\ \text{Ga}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{As}$ ($5\cdot 10^{17}$ p-dotiert), $0,5\ \mu\text{m}\ \text{GaAs}$ ($10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ p-dotiert), AuZn-Kontakt; die erstgenannten 3 Schichten bilden einen Fototransistor, dann folgen eine Absorptionsschicht und die lichtemittierende Diode. Zu recht, so meine ich, wird beim IEEE von einer Pionierleistung gesprochen.

Vor 22 Jahren hat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft die Gauß-Medaille an Walter Schottky verliehen und damit einen Wissenschaftler geehrt, dem wir die ersten grundsätzlichen Einsichten in den physikalischen Mechanismus eines Festkörpervorgleichrichters verdanken und der die Theorie des nach ihm benannten Metall-Halbleiter-Kontaktes schon in den 30er Jahren in einer heute noch gültigen Form aufstellte. Ich weiß, wie hoch Heinz Beneking das wissenschaftliche Wirken von Walter Schottky einschätzt, trägt doch das Aachener Institut Schottky's Namen. War Schottky der Typus des reinen Forschers, so fällt die zweite Ehrung eines Elektronikers durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft einem Manne zu, der darüberhinaus dieses Fachgebiet mit Fingerspitzengefühl für das Erreichbare, mit Zielstrebigkeit und Ausdauer durch Eigeninitiativen, Anregungen und harte Mitarbeit auch institutionell gefördert hat: Herr Beneking war an der Einrichtung der ingenieurwissenschaftlichen Schwerpunktprogramme „Halbleiterelektronik“ und „Optoelektronik“ durch die DFG maßgeblich beteiligt. In vielen Gutachtersitzungen habe ich als Koordinator der Besprechungs- und Prüfungsgruppen die große Breite und Tiefe seines Wissens, die schnelle Erfassung der wesentlichen Leitgedanken eines Vorhabens, seiner zukünftigen Bedeutung, aber auch seiner Schwachstellen bewundern können. In Aachen wurde Ende der 60er Jahre durch intensives Bemühen von Herrn Beneking ein Sonderforschungsbereich „Festkörperelektronik“ gegründet, der Festkörperphysiker und Elektrotechniker zu gemeinsamer Arbeit zusammengeführt hat, seinerzeit der einzige Sonderforschungsbereich der Elektrotechnik, der über 12 Jahre hinweg u. a. jene Ergebnisse gebracht hat, die zu würdigen wir heute zusammengekommen sind. Als besonders fruchtbar hat sich für die Arbeit dieses Sonderforschungsbereichs die von Herrn Beneking mit besonderem Nachdruck geförderte Realisierung der Idee erwiesen, ein für alle Arbeitsgruppen zugängliches Basislabor einzurichten, in dem mit den besten und subtilsten Geräten von entsprechenden Spezialisten grundlegende Daten zur Material- und Bauelemente-Forschung ermittelt werden konnten. Vor 2 Jahren ist es gelungen, einen neuen Sonderforschungsbereich in Aachen zum Thema „Grenzflächen- und Schichtstrukturen für Halbleiter-Bauelemente – Physik und Technologie“ mit Hilfe der DFG einzurichten und damit die gute und fruchtbare Kooperation zwischen Physik und Elektrotechnik fortzusetzen; läßt auch die Namensgebung einen Wandel der Arbeitsthematik erkennen, bleibt die Zielsetzung letztlich doch die Weiterentwicklung der Mikroelektronik. Daß die Technik bei Herrn Beneking

nicht hintansteht, ist durch die Mitwirkung an BMFT-Programmen resp. deren Begutachtung gewährleistet.

Und was ist das für ein Mensch, der so Großartiges geleistet und bewirkt hat? Ich meine, das Wort von Hesse

„Wir haben erfahren, daß der Mensch seinen Intellekt bis zu erstaunlichen Leistungen kultivieren kann, ohne dadurch der eigenen Seele Herr zu werden“

trifft auf Heinz Beneking im letzten Teil des Zitates nicht zu. Der stille Beobachter sieht einen engen, oft persönlichen Kontakt zwischen ihm und seinen Mitarbeitern, die offene und freundliche Art, mit der Wissenschaftler als Gäste aufgenommen und betreut werden, die Bereitschaft zur ideellen und materiellen Hilfe, das Verständnis für die Probleme und Schwierigkeiten anderer, das Bemühen um absolute Fairness und Gerechtigkeit, das Streben nach Wahrheit, nach der Erkenntnis geistiger Zusammenhänge, das Eintreten für ethische Grundsätze – ein solcher Mensch ist Herr seiner eigenen Seele, und vielleicht ist dieses der tiefere Grund für die überall spürbare psychische Kraft, für die scheinbar unbegrenzte Intensität des beruflichen Wirkens.

Ich glaube, daß Sie, meine sehr verehrten Damen und Herren, in dem gleich folgenden Vortrag von Herrn Beneking ein wenig von dieser Menschlichkeit verspüren werden. Überlassen Sie sich nach diesen trockenen Worten einer Laudatio der Faszination, die ein forschender Geist auszustrahlen vermag. Vergessen Sie – soweit vorhanden – die Voreingenommenheit und Reserve gegen moderne Naturwissenschaft und Technik. Folgen Sie einer Empfehlung von Goethe:

„Habt doch die Courage, euch den Eindrücken hinzugeben, euch ergötzen zu lassen, euch rühren zu lassen, euch erheben zu lassen, ja euch belehren und zu etwas Großem entflammen und ermutigen zu lassen“.

Hätte nicht auch Carl-Friedrich Gauß, der sich der Physik und den Anwendungen der Mathematik so sehr verbunden fühlte, an der heutigen Ehrung eine innere Freude empfunden!?

Halbleitertechnik auf neuen Wegen

Von **Heinz Beneking**, Aachen

Sehr geehrter Herr Präsident,
meine sehr verehrten Damen und Herren!

Der Name Gauß weckt bei einem Naturwissenschaftler vielfältige Assoziationen. – Carl Friedrich Gauß hat im Leben des Ingenieurs und Physikers zumindest seit dessen Studium eine besondere Bedeutung, als die magnetische Induktion, physikalische Sätze und sogar ein Maßsystem nach ihm benannt wurden. Die Zeiten ändern sich, unser Maßsystem ist modifiziert, und der Fortschritt hat uns größere Einheiten nicht nur in der Pferdestärke unserer Autos beschert, sondern auch in der Physik – ein Tesla = 10.000 Gauß.

Der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft möchte ich ganz besonders dafür danken, daß sie mich als Träger der Gauß-Medaille ausersehen hat und damit zu einem Bewahrer des Bewußtseins gemacht hat, daß Carl-Friedrich Gauß einer der ganz großen deutschen Wissenschaftler war. Ein Naturwissenschaftler, der selbst sein Streben durch ein Zitat aus Shakespeare „König Lear“ umriß:

Thou, nature, art my goddess;
to thy law my services are bound.

Dies tat Gauß, und die mit einem solchen Einsatz verbundene intellektuelle Freude und Befriedigung spürt wohl jeder echte Wissenschaftler, sowohl in der reinen Wissenschaft, als auch in der angewandten, im technischen Bereich.

Ob sich Gauß der Halbleitertechnik gewidmet hätte, ist eine müßige Frage. Die Arbeit von Ferdinand von Braun über die Leitung der Schwefelmetalle erschien in Pogendorfs Annalen erst zwanzig Jahre nach Gauß' Tod. Die Astronomie brachte ihn von der Mathematik zum Makrokosmos, und er wurde durch seine bahnbrechenden Arbeiten zum Lauf der Gestirne ein ebenso berühmter Astronom, wie er durch seine mathematischen Arbeiten ein berühmter Mathematiker war.

Die Halbleitertechnik kommt von den Grundlagen der Festkörperphysik zum Mikrokosmos, und auch hier ist eine Gesamtschau erforderlich, welche viele Disziplinen umfaßt. Grundlagen und Anwendungen sind vielfältig verwoben, die Quantentheorie geht eine fruchtbare Symbiose mit grobschlächtiger Elektronik ein, die Technologie, die Herstellkunst, wird zur kaum mehr erfüllbaren Anforderung an den Ingenieur, stellt höchste Ansprüche an ihre wissenschaftliche Durchdringung, an Prozeßführung und Reproduzierbarkeit.

Es fing so einfach an, Hilsch und Pohl bauten 1938 in Göttingen ihren Kristallverstärker, bei dem man mit bloßem Auge das Vordringen der Ladungswolke durch die Umladung von Farbzentren verfolgen konnte. 1948 wurde von Bardeen und Brattain

durch einen Artefakt die Minoritäteninjektion entdeckt, Shockley erfand den Flächen-transistor.

Die Silizium-Planartechnik Anfang der 60er Jahre führte dann zur monolithischen Integration, wobei die 1962 von Kahng eingeführten MOS-Transistoren eine wichtige Rolle spielen.

1 Mio. Bauelemente pro Chip ist heutiger Standard, 1 Mio. funktionierende und miteinander kommunizierende Bauelemente wohlgemerkt. Die staunende Umwelt erfährt täglich von neuen Produkten der Halbleiterindustrie. Wir stehen in der dritten industriellen Revolution nach der Einführung des automatischen Webstuhls und der Dampfmaschine. Doch dies, meine Damen und Herren, betrifft eine zwar konsequente und rasante und auch beeindruckende, aber doch nur konventionelle Entwicklung, nachvollziehbar mit der Textbuch-Physik der 30er Jahre.

Tatsächlich revolutionierend sind die Entwicklungen der letzten fünf Jahre. Realisierte Übergitter, Superlattices, wie wir in deutsch sagen, modulationsdotierte und Quantenwall-Strukturen, sowie das Eindringen der Submikron-Technik in die Bauelement-Technologie. Damit wird tatsächlich ein neues Blatt in der Entwicklung der Halbleitertechnik beschrieben. Eines, das gelesen und verstanden werden kann nur mit dem Wissen um jüngste physikalische Erkenntnisse und betrieben werden kann allein von breit ausgebildeten, die Quantentheorie ebenso beherrschenden wie technologisches Fingerspitzengefühl besitzenden Fachleuten in der Kooperation von Theoretikern und anwendungsbezogenen Ingenieuren.

Welche Phänomene sind es nun, die die neue Halbleiterära einleiten. Von Heteroverbindungen wurde bereits von Herrn Professor Krömer am Vormittag berichtet. Auf diesen wesentlichen Teilaspekt werde ich im folgenden nicht mehr eingehen. Was ich hier nennen möchte, ist die Möglichkeit der Modulationsdotierung. Sie führt zu einer ganz neuen Klasse von Bauelementen, deren Bedeutung nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Wir verstehen darunter die Schaffung extrem dünner hochkontrdotierter Zonen in einem Halbleiter-Einkristall. Lassen wir die Realisation zunächst beiseite und fragen nach der Wirkung. Extrem dünn heißt größenordnungsmäßig maximal 10 nm, $\frac{1}{100} \mu\text{m}$; kontrdotiert heißt, in einem elektronenleitenden Material diese Zone mit Akzeptoren zu versetzen mit einer Dichte um 10^{18} cm^{-3} oder höher.

Was geschieht, wenn eine solche Zone eingebettet wird in einen schwach n-dotierten Halbleiter. Es handelt sich offenbar um eine transistorartige Struktur, Emitter n, Basis p, Kollektor p, npn-, aber mit einem gravierenden Unterschied. Die eigentliche, neutrale Basis ist wegen der Dünne der Schicht verschwunden, die Zwischenschicht ist von beweglichen Trägern entblößt und stellt mit ihren Dotierungsrümpfen eine negativ geladene Flächenladungsscheibe dar. Dies Entblößen ist bedingt durch die geringe Schichtdicke, die viel kleiner ist als die zugehörige Debye-Länge. Die entsprechenden positiven Ladungen finden sich am Rande der hochdotierten n-Zonen, welche beidseitig an das System anschließen.

Stellen Sie sich dies plastisch vor: Hier links eine positive Ladung, dann nichts, hier jetzt eine hohe negative Ladung, und dann wieder nichts, und schließlich wieder eine positive Ladung. Insgesamt herrscht Neutralität, aber die räumlich voneinander ent-

fernten Ladungen bewirken ein elektrisches Feld, wie in einem Plattenkondensator. Die Elektrostatik ist schnell klar: Wir haben gemäß des Vorschlages von Roger Malik, den er in seiner Dissertation 1980 realisiert hat, eine Dreiecksbarriere geschaffen – eine Potentialbarriere für Majoritätsträger.

Ist sie symmetrisch angeordnet, erhalten wir eine symmetrische Stromspannungskennlinie, mit gleichem Verhalten unabhängig von der Richtung der angelegten Spannung. Liegt die Barriere jedoch unsymmetrisch, erhalten wir eine unsymmetrische Potentialschwelle mit unsymmetrischem Stromfluß bei anliegender Spannung. Wir können nicht nur die Barriere in ihrer Höhe durch die Dotierung gezielt beeinflussen, sondern die für beide Stromrichtungen unterschiedlichen Stromverläufe durch die räumliche Lage der inneren Ladungsscheibe beeinflussen. Für die Anwendung ist wesentlich und bedeutsam, daß hierbei Majoritätsträger, in unserem Beispiel Elektronen, einfließen werden. Das ist etwas neues. Man kannte zuvor doch nur Boltzmann-Barrieren zur Steuerung von Minoritätsträgern, was gekoppelt ist mit deren langsamer Bewegung und ihrer Speicherung und damit der großen Diffusionszeitkonstanten der bipolaren Bauelemente. Hier und jetzt hat man es nun nur noch mit der Relaxationszeitkonstanten zu tun, welche viel kürzer sind als die Diffusionszeitkonstante. Es treten auch keine Arbeitspunkt-abhängigen Kapazitäten auf, denn die Ladungen verbleiben spannungsunabhängig an ihrem Ort. Die thermische Emission statt einer Minoritäten-Injektion bestimmt das Bauelemente-Verhalten.

Verwendet man eine stark unsymmetrische Anordnung in einer auf Shannon zurückgehenden Form, erhält man eine Konfiguration, die voll einer Schottky-Diode entspricht, also einer Metall-Halbleiter-Anordnung, wie wir sie im Höchstfrequenzgebiet verwenden. Die sich ergebende Potentialverteilung ähnelt einem Kamelhöcker, und weil das Material wie ein Kamel störrisch ist, bei den Herstellversuchen die gewünschte Charakteristik zu zeigen, hat Shannon als echter Engländer das Wort Camel-Diode, Kamel-Diode, dafür geprägt. Die oft apostrophierte Duplizität der Fälle tritt übrigens an dieser Stelle auf. Praktisch gleichzeitig hat Herr Mader in München diese Idee gehabt, wenn auch von einer anderen Seite her, und zugehörnde Patente gehören nun in einem Land dem Einen, im anderen dem Anderen beziehungsweise ihren Firmen Mullard/Philips und Siemens.

Was hat man damit gewonnen. Man besitzt eine Struktur, die wie eine Schottky-Diode arbeitet, mit all ihren Vorteilen bezüglich Schaltgeschwindigkeit und Hochfrequenzverhalten. Im Gegensatz zu dieser ist die eigentliche Funktion jedoch innerhalb eines einkristallinen Halbleiterbereichs angesiedelt, ohne die kritische Metall-Halbleiter-Grenzfläche. Dies ist nun äußerst bedeutsam. Die Barrierenhöhe, also die Schwelle, welche energetisch von den Trägern überwunden werden muß, ist vorgebar, die Kapazität ist praktisch spannungsunabhängig, und das Fehlen von Zwischenschichtzuständen, wie wir sie bei der Schottky-Diode an der Grenzschicht Halbleiter – Metall immer haben, läßt ein niedriges ($1/f$)-Rauschen erwarten. Die Barriere ist ja hier perfekt eingepackt, wie bei einem Bipolarsystem, und liegt nicht frei an der Oberfläche. Hinzu kommt, daß dies System in Silizium ebensogut aufzubauen ist, wie in GaAs und anderen III-V-Materialien, die bei konventionellen Bauelementen insbesondere für

Anwendungen bei höchsten Frequenzen prädestiniert sind. Ja sogar besser als diese Materialien könnte Silizium geeignet sein, da es bei dieser neuen Klasse von Bauelementen auf spezielle Dotierungseigenschaften ankommt, welche beim Silizium möglicherweise besser zu realisieren sind als bei III-V-Verbindungen.

Nun kann man nicht nur Dioden, sondern ähnlich dem Übergang von der pn-Diode zum bipolaren Transistor auch durch eine enge Kopplung zweier Kamel-Dioden, oder – wie Herr Mader sie nennt – von Bulk-Barrier-Dioden, auch Majoritätsträger-Transistoren bauen. Das heißt, die Verwirklichung eines Hot-Electron-Transistors kommt greifbar nahe. Dies gelingt allerdings nur bei extrem inniger Kopplung der Substrukturen, innere Abstände der Größenordnung 10 nm sind hier erforderlich. Es ist dies eine nicht gerade geringe Anforderung an die Technologie von Mehrschicht-Strukturen, aber ein lohnendes Ziel. Wie Sie wissen, sind Schichtfolgen dieser Größenordnung mit modernen Epitaxieverfahren durchaus realisierbar. Heiße Elektronen müssen dann kollisionsfrei diese innere Verbindungsstrecke der beiden Cameldioden durchlaufen – physikalisch wie technisch äußerst reizvoll und spannend. Der Begriff „happy-electrons“ hat sich für solche Ladungsträger eingebürgert, denen es gelingt, tatsächlich ohne wesentlichen Verlust an Energie entsprechend dünne Halbleiterschichten zu durchlaufen und damit einen Bipolartransistor-ähnlichen Majoritäten-Transistor zu kreieren. 100 GHz sollte keine Grenze für eine solche Konfiguration sein – wenn's mal gelingt. Als Diode, das kann man voraussagen, wird dieses System auf jeden Fall in Kürze konventionelle Bauelemente verdrängen.

Von Herrn Krömer haben Sie heute vormittag die Molekularstrahl-Epitaxie loben gehört; dort hat der Physiker gesprochen, und in der Tat sind die Erfolge der MBE beeindruckend. Der Ingenieur hat gewisse Vorbehalte, er benötigt beste Reproduzierbarkeit, ein preiswertes Verfahren und einen hohen Durchsatz. Er sucht Alternativen für das doch sehr teure und physikalische Molekularstrahl-Epitaxieverfahren. Er läßt die ihm bekannten Verfahren Revue passieren, ausgerichtet auf die neue Technologie der vertikalen Submikronstrukturierung, praktisch zwei Größenordnungen feiner als bisher üblich. Und er findet Möglichkeiten. Die Ionenimplantation ist ihm vertraut, hat aber zwei drawbacks. Die eine Schwierigkeit ist in der Dichteverteilung implantierter Spezies begründet, welche eine relativ flache, Gauß-förmige ist – an dieser Stelle lieben wir somit Gauß nicht so sehr –, die zweite ist das Erfordernis der Ausheilung, damit die eingeschlossenen Ionen auf normale Gitterplätze rutschen und ihre Dotierungsfähigkeit ohne Störung der Trägerbewegung der Elektronen im Kristall wahrnehmen können. Die erforderlichen Zeiten und Temperaturen sind zu lang und hoch für die neuen Anforderungen, da eine starke Profilverfälschung und damit ein Verschmieren der Verteilung eintritt. Was können wir dagegen tun. Erstens implantieren wir durch eine Deckschicht, womit wir erreichen, daß nur der Schwanz der Verteilung im eigentlichen Material auftritt, zweitens heilen wir mittels eines Kurzzeit-Temperaturstöße aus (Flash-Annealing), und wir haben überdies das Gitter im Implantationsbereich voramorphisiert, um ein Auswandern der Spezies zu verhindern. Es funktioniert also zumindest im Labor, eine Zehnerpotenz Dotierungsabfall pro 10 nm.

Das Überwachsen mit einer weiteren Schicht muß dann schnell und bei möglichst niedriger Temperatur erfolgen. Hier bietet sich das Verfahren der metallorganischen Epitaxie an. Metallorganische Komponenten müssen dann gecrackt werden, und dies in Gegenwart von Atomgruppen, welche gemeinsam mit dem Metallatom der organischen Verbindung das Kristallgitter aufbauen können. Im Falle von GaAs also etwa Arsin, wobei als metallorganische Komponente Trimethyl-Gallium Verwendung finden kann. Um nun eine möglichst dünne Schicht in möglichst kurzer Zeit aufbringen zu können, kann man eine pulsförmige Temperaturerhöhung mittels eines Lasers heranziehen, das heißt, man kann eine Laser-unterstützte Pyrolyse durchführen. Verwendet man dazu einen Puls laser mit einer Pulsdauer von einigen Nanosekunden und einer Wellenlänge, welche primär eine Temperaturerhöhung durch Absorption der Strahlung in der obersten Oberfläche des Substrates bewirkt und weniger eine photolytische Zersetzung der Komponenten, wird es möglich, lediglich aus dem Adsorbat auf der Halbleiteroberfläche heraus ein Schichtwachstum vorzunehmen. Drei Atomlagen pro Schuß- und Halbleitertechnik auf dem Wege zum technologischen Atomical Configuration Engineering, in gleicher Weise, wie heute vormittag von Herrn Professor Krömer bezüglich des Aufbaus von Grenzschicht-Strukturen erläutert. Doch nicht nur wachsen, sondern auch dotieren können wir auf diese Weise: Pro Laserschuß ist eine 5 nm dicke Oberflächenschicht bis zur Entartung dotierbar, mehr Schüsse ergeben tiefergehende Profile. Falls wir wollen, können wir so per optischer Abbildung in beliebiger Konfiguration auf der Halbleiterscheibe ohne Maskierung dotieren. Ein Einbau von Dotierstoffen findet nur an den belichteten Stellen statt; laterale Auflösung unterhalb von 1 μm . Neue Verfahren werden so machbar, die für neuartige Bauelemente unabdingbar sind und die auf technologischem Gebiet in den kommenden Jahren eine große Umwälzung bedeuten werden. Es erfolgt der Übergang von der statischen Technologie zur dynamischen mit transients Materialbeeinflussung.

Mit diesem Exkurs in die neue zukunfts-trächtige Gruppe der Majoritätsträgerstrukturen habe ich Ihnen einen Ausschnitt aus der Entwicklung der vertikalen Strukturierung vorgeführt. Die neuen Wege der Halbleitertechnik gehen aber nicht nur in die Tiefe, sondern auch in die Breite, wobei das Wort Breite allerdings übertrieben ist. Aktive Geometrien, also die Strukturbreiten von Bauelement-Substrukturen, welche für die Funktion wesentlich sind, liegen heute schon bei 0,5 μm , und wir wollen noch schmaler werden. Dies an sich ist nicht so schlimm, kritisch ist die jeweilige Justierung: Es muß ja eine Schicht über die andere passen, die Justierung muß verständlicherweise wesentlich geringere Schwankungsbreiten einhalten als die zu justierende Struktur selbst groß ist. Mehrere Verfahren konkurrieren bezüglich einer solchen lateralen Strukturübertragung. Mit und ohne Maske, mit und ohne Resist, also einer durch die zur Konfigurierung verwendete Strahlung modifizierbaren Deckschicht.

Gleichwie die schließliche technische Lösung aussehen wird, es gelingt im Labor heute bis herab zu etwa 20 nm Strukturen gewollt zu erzeugen, und dies bei einer Überlagerungsgenauigkeit von etwa 5 nm. Man verwendet hierzu die Elektronenstrahl-Lithographie. Strukturen der gewünschten Feinheit wurden schon früh durch thermische Einwirkung des Elektronenstrahls auf eine dünne Folie hergestellt, nicht aber

gemäß den Forderungen der Halbleitertechnik. Das Problem besteht in dreierlei Hinsicht. Das erste betrifft die bei der Abbremsung des Elektronenstrahls auftretende Streuung der Elektronen. Es entsteht ein Halo, was uns aber im Gegensatz zum Halo des Mondes am Firmament – Sie sehen meinen Versuch, auch die moderne Technologie auf Gauß zu beziehen – die laterale Auflösung begrenzt. Abhilfe schafft eine hohe Elektronenenergie, wir nehmen 100 kV als Beschleunigungsspannung, dann flutschen die Elektronen zunächst noch ungestört durch die obere Materiallage hindurch, ehe sie gestreut werden, und 10 nm-Strukturen werden machbar. Das zweite Problem besteht in der korrekten Strahlführung zum Schreiben auf der Substrat-Oberfläche bzw. in der Resist-Schicht. Hierzu haben wir einen Patterngenerator gebaut, welcher ein Ansteuerungsraster von 3 nm besitzt. Dies ist auch der Durchmesser des Gaußschen Strahls – diesmal habe ich nicht krampfhaft nach einem Bezug gesucht, man sagt wirklich so –, so daß das dritte Problem, das der Justierung in eben dieser Genauigkeit lösbar werden dürfte.

Unterhalb $0,5\ \mu\text{m}$ nun treten neuartige Phänomene auf, die für Physiker und Ingenieure gleichermaßen von Interesse sind, und die die Auffassung ad absurdum führen, die Festkörperphysik hätte ihre Blütezeit hinter sich. Wir kommen in Längenbereiche hinein, die 10 Atome umfassen, in Strukturgrößen, längs deren das ballistische Verhalten der Elektronen erkennbar – und wie wir glauben – ausnutzbar wird.

Sie alle kennen das Ohmsche Gesetz, wir haben es auf der Schule gelernt, das heißt, wir schon, aber heute ist es nicht so sicher, ob es zum Kenntnisstand eines jeden Abiturienten gehört. Nun, physikalisch gesprochen, ist das Ohmsche Gesetz die Proportionalität von elektrischer Stromdichte und anliegender elektrischer Feldstärke. Dies Gesetz, meines Erachtens tatsächlich das schwierigste der Elektrotechnik, basiert auf der Wechselwirkung der einzelnen bewegten Elektronen mit dem Kristallgitter, und sagt etwas Bestimmtes über die Eigenschaften des Ensembles dieser Elektronen aus. Nun ist es aber so, daß eine solche Wechselwirkung einer minimalen Schwellenenergie, der der ersten anregbaren Gitterschwingung, der longitudinalen Phononen, bedarf und daß eine Relaxationszeit auch für den Impulstransfer anzusetzen ist. Beides führt nun dazu, daß im ersten Augenblick einer angreifenden Kraft, also des elektrischen Feldes, ein Überspringen erfolgt derart, daß für Bruchteile einer pico-Sekunde eine Geschwindigkeit erreicht wird, welche eine Größenordnung höher als der stationäre Maximalwert ist. Etwa $10^8\ \text{cm/sec}$ bei uns verfügbaren Materialien, das sind 0,3 Prozent der Vakuumlichtgeschwindigkeit. Die Strecke nun, die währenddessen das Elektron durchläuft, beträgt bei den gängigen III-V-Halbleitern gerade etwas unterhalb $0,5\ \mu\text{m}$. Bei Silizium ist diese Strecke leider wesentlich kürzer und liegt damit außerhalb des derzeit technisch Machbaren. Das heißt aber, daß bei entsprechend kurzen Kanälen überproportional zur Verkürzung der Geometrie die Schaltzeiten geringer werden und die obere Grenzfrequenz ansteigen sollte. Erste Meßergebnisse scheinen die Voraussage tatsächlich zu bestätigen, und Sie werden verstehen, daß gerade diese Gründe wesentlich für das Bemühen um diese feinen Geometrien sind, und nicht nur die erwartete höhere Packungsdichte bei integrierten Schaltungen. Deren Verkleinerung führt allerdings auch zu beeindruckenden Zahlen.

Heutige Strukturbreiten betragen $2\ \mu\text{m}$. 20 nm sind 1 Prozent davon. Damit würde eine konsequente Ausnutzung der gegebenen Verkleinerungsmöglichkeiten zu einer weiteren Erhöhung der Packungsdichte um den Faktor 10000 führen. Kommen wir an unser Gehirn heran?! Unser Geist ist nicht in der Lage, die hierin liegenden Möglichkeiten zu erfassen. Das einzige, was die Halbleiter-Leute zu projizieren vermögen, ist der Bau immer komplexerer Speicher. 256 K haben wir, 1 Mbit, 2 Mbit, 4 Mbit sind angestrebt – 4 Gbit wären möglich.

Doch wie stets im Leben, man erhält nichts geschenkt ohne Gegenleistung. Sie sehen es schon an mir, der ich gerade mit Freude die Gauß-Medaille erhalten habe, und nun stehe ich umgehend schon hier, um Ihnen einen Vortrag zu halten. Und das noch ohne Lichtbilder, weil man im Mittelalter so wenig vorausschauend war, für diese Kommunikationstechnik Raum vorzusehen. Bei den feinen Geometrien nun tragen absolut sehr geringe Elektronenmengen zum Geschehen bei, $Q = C \cdot V$, die Ladung ist Kapazität \times Spannung, eine zweite Grundbeziehung der Elektrotechnik. Die innere Kapazität der winzigen Elemente ist nun sehr klein, einige Attifarad, ein Attifarad ist ein Millionstel Picofarad. Damit entspricht der Ladung eines einzigen Elektrons bereits eine Spannung von einigen Millivolt, und dies heißt konkret, daß solch kleine MOS-Transistoren mit ihren Fangstellen untolerierbare Schwellspannungsänderungen aufweisen, denn die Fangstellenbesetzung erfolgt statistisch, und jedesmal würde der Strom einen Sprung machen, wie er der entsprechenden Spannungsänderung zukommt. Nur extrem niedrige Betriebsspannungen könnten dies verhindern.

Wir sehen, es ist wie im Paradies, Eva hält uns den Apfel hin, und wir werden in die rauhe Wirklichkeit hineingestoßen, wenn wir ihn ergreifen. Kein Physiker aber, der nicht Adam wäre, und kein Ingenieur, der nicht einen Trick versuchen würde, um um das Schlimmste herumzukommen. Genau diese Aufgabe steht jetzt vor uns, Einsicht in die wirksamen Phänomene zu gewinnen, und diese umzumünzen in reale Bauelemente. Eine Aufgabe, die wir freudig ergreifen im Sinne von Carl-Friedrich Gauß

Du Natur bist meine Gottheit
deinen Gesetzen diene ich

Meine Damen und Herren, herzlichen Dank für Ihr Zuhören.

DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR DR. RER. NAT.

HEINZ BENEKING

IN WÜRDIGUNG SEINER HERAUSRAGENDEN VERDIENSTE
AUF DEM GEBIET DER MIKROELEKTRONIK.

Professor Dr. Beneking hat durch die optimale Verknüpfung der Grundlagenforschung, die die Bewegung, Anregung und Steuerung von Ladungsträgern in Halbleitern umfaßt, mit neuartigen technologischen Präparationsverfahren und dazu konzipierten Meßtechniken wesentliche Voraussetzungen für die weitergehende Integration elektrischer Schaltkreise geschaffen. Mit großem Ideenreichtum ist es ihm und seiner Arbeitsgruppe gelungen, zielstrebig in kleinsten Dimensionen ablaufende physikalische Vorgänge quantitativ zu bestimmen und Wege für ihre Nutzung aufzuzeigen.

In der praktischen Realisierung hat Prof. Dr. Beneking richtungsweisende Beiträge zur Verringerung der geometrischen Abmessungen und zur Erhöhung der Schnelligkeit in der Funktionsweise elektronischer Bauelemente und Baugruppen gegeben und so technische Entwicklungen in überzeugender Weise stimuliert.

Braunschweig, den 30. April 1984



Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft

Beneking, Heinz, Prof. Dr. rer. nat., o. Prof. und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der Technischen Hochschule Aachen

geboren: 28. 3. 1924 in Frankfurt/Main
 1942 Abitur an der Sachsenhausener Oberschule
 1942 Beginn des Studiums Fachrichtung Physik an der Universität Frankfurt/Main
 1942–1945 Kriegsdienst
 1945–1951 Fortsetzung des Studiums Fachrichtung Physik an der Universität Hamburg
 1951 Dipl.-Phys. (Universität Hamburg)
 1951 Promotion zum Dr. rer. nat. (Universität Hamburg)
 1951–1954 Mitarbeiter Zentraltechnik Nordwestdeutscher Rundfunk Hamburg;
 Entwicklungsingenieur Telefunken GmbH, Halbleiterentwicklung Ulm
 1954–1957 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik (Technische Hochschule Aachen)
 1956 Habilitation für Lehrgebiet Transistortechnik, Fakultät Elektrotechnik (Technische Hochschule Aachen)
 1957 Ernennung zum Dozenten
 1957–1960 Dozentur für Transistortechnik (Technische Hochschule Aachen)
 1960–1961 Leitung der Meßabteilung, Halbleiter-Verfahrens- und -System-Entwicklung, Telefunken AG., Ulm
 1961 Berufung zum außerordentlichen Professor an der Technischen Hochschule Aachen, Errichtung des Lehrstuhls für Transistortechnik, Ernennung zum Direktor des gleichnamigen Institutes
 1964 Ernennung zum ordentlichen Professor an der Technischen Hochschule Aachen, Umbenennung des bisherigen Lehrstuhls und Instituts in Halbleitertechnik
 Mitglied: DPG, VDE/NTG, IEEE/ED, MTT (Senior member)
 Ehrungen: Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
 1984

Schlußwort des Generalsekretärs

Sehr verehrter Herr Professor Beneking!
Meine Damen und Herren!

Als Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft habe ich zum Schluß die Ehre und die Pflicht, Worte des Dankes auszusprechen. Zuerst gilt mein Dank dem diesjährigen Gauß-Medaillenträger, Ihnen, Herr Professor Beneking. Sodann den Herren Vortragenden der begleitenden wissenschaftlichen Tagung,

Herrn Professor Krömer
und Herrn Professor Leonhard.

Weiterhin bedanke ich mich beim „Kanzlerfelder Bläser-Oktett“, das uns durch die musikalische Umrahmung dieser Feier erfreut hat. Aber in meinen Dank möchte ich auch alle Gäste einbeziehen, die durch ihr Erscheinen die Verbundenheit mit unserer Gesellschaft bekundet und dieser feierlichen Verleihung den entsprechenden Rahmen gegeben haben.

Wir hörten heute aus berufenem Munde, wie sehr die Entwicklung auf dem Gebiete der Mikroelektronik in den letzten Jahren vorangegangen ist. Diese wissenschaftlichen und technischen Fortschritte werden unser Leben in einschneidender Weise beeinflussen. Es wird großer Anstrengungen von Seiten der Naturwissenschaftler, der Ingenieurwissenschaften, der Geisteswissenschaften *und* auch der Politiker bedürfen, damit sich der zu erwartende neue technische Umschwung nicht zum Schaden, sondern zum Segen der Menschen auswirken kann. Wir alle werden viel dazulernen müssen! Das ist eine pädagogische Herausforderung auf allen Ebenen, von deren Bewältigung unsere Zukunft weithin abhängen dürfte.

Zum Schluß darf ich noch bekanntgeben, daß jetzt im Anschluß ein Empfang der Stadt Braunschweig in diesem alten Gewandhaus stattfindet.

Ich danke Ihnen.

Geschäftliche Mitteilungen

Das Plenum trat am 14. 12. 1984 zu seiner durch die Satzung vorgeschriebenen jährlichen Hauptsitzung zusammen. Es nahm zustimmend die Berichte des Präsidenten und des Generalsekretärs entgegen, entlastete den Verwaltungsausschuß für dessen Tätigkeit im Rechnungsjahr 1983 und faßte die erforderlichen Beschlüsse zu den Haushalten 1985 und 1986.

Der Verwaltungsausschuß trat am 16. 7. 1984 und am 26. 9. 1984 zur Erledigung von Regularien zusammen, und das Konzil beschloß auf seiner Sitzung vom 14. 12. 1984, Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Ertl, München, die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille des Jahres 1985 anzutragen. Die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik wählte am 9. 11. 1984 Prof. em. Dr.-Ing. Otto Rosenbach für die Amtsperiode vom 1. 1. 1985 bis zum 31. 12. 1988 zu ihrem Vorsitzenden.

Dem Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille von 1967 und korrespondierenden Mitglied der BWG seit 1975 in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik, Prof. Dr. phil. habil. Henry Görtler, wurde der Aachener und Münchener Preis für Technik und angewandte Naturwissenschaften 1984 verliehen.

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 1983 der BWG“

Im Druck befinden sich:

„Abhandlungen der BWG“, Bd. XXXVI (1984)

„Der Braunschweiger Burglöwe“ in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, Bd. 2

Nachrufe

Hermann Schlichting

* 22. 9. 1907 † 15. 6. 1982

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 6. 4. 1984

Von **Hermann Blenk**

Mit Hermann Schlichting hat die BWG wieder eines ihrer alten Mitglieder verloren, die seit Gründung unserer Gesellschaft im Jahre 1943 dazugehörten.

Hermann Schlichting wurde am 22. September 1907 in Balje im Kreis Stade geboren, studierte von 1926 bis 1930 Mathematik und Physik in Jena, Wien und Göttingen und promovierte 1930 bei Ludwig Prandtl in Göttingen mit einer Arbeit „Über das ebene Windschattenproblem“. Er blieb bis 1935 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung in Göttingen und leitete von 1935 bis 1937 die Abteilung „Windkanal“ bei den Dornier-Werken in Friedrichshafen. 1938 wurde er zum o. Professor für Aerodynamik und Strömungsmechanik an die TH Braunschweig berufen und blieb dieser Stellung treu bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1975. 1957 lehnte er einen Ruf an die TH München ab.

Hermann Schlichting stellte sich während seiner Braunschweiger Zeit immer wieder auch zusätzlichen Aufgaben, die an ihn herangetragen wurden, bereitwillig zur Verfügung. So war er schon von 1939 bis 1945 freier Mitarbeiter in dem von mir geleiteten Institut für Aerodynamik der Luftfahrtforschungsanstalt (LFA) in Braunschweig-Völkenrode. Als diese Anstalt nach 8jähriger Unterbrechung im Jahre 1953 ihre Tätigkeit – jetzt am Flughafen Braunschweig-Waggum – wieder aufnehmen konnte, gehörte Hermann Schlichting zu den 6 Professoren, die trotz der zunächst sehr bescheiden zur Verfügung gestellten Mittel den Mut zu diesem neuen Start aufbrachten, außer ihm und mir Heinrich Koppe (1891–1963), Kurt Löhner (1900–1978), Otto Lutz (1906–1974) und Hermann Winter (1897–1968). Hermann Schlichting leitete von 1953 bis 1971 das Institut für Aerodynamik der wiedererstandenen Deutschen Forschungsanstalt für Luftfahrt (DFL). Als im Jahre 1957 Albert Betz (1885–1968), der langjährige Wegbegleiter Ludwig Prandtls (1875–1953) in Göttingen, aus Altersgründen von der Leitung der Aerodynamischen Versuchsanstalt zurücktrat, wurde Hermann Schlichting zum Direktor dieser weltberühmten Anstalt, die damals von der Max-Planck-Gesellschaft betreut wurde, berufen. Er übte danach also gleichzeitig 3 leitende Ämter aus und zwar, wie ich aus guter unmittelbarer Kenntnis bestätigen kann, alle mit vollem Einsatz seiner Persönlichkeit und mit sehr gutem Erfolg. Als die Luftfahrt- und Raumfahrtforschungsanstalten sich 1969 zur DFVLR zusammenschlossen, wurde Hermann Schlichting als Vorstandsmitglied dieser Dachgesellschaft die Leitung des Forschungszentrums Göttingen der DFVLR anvertraut. Er behielt dieses Amt bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1975.

Die Aufzählung dieser zusätzlichen Ämter könnte den Eindruck erwecken, daß Hermann Schlichting seine Hauptaufgabe als Hochschullehrer vernachlässigt hätte – oder gar hätte vernachlässigen müssen. Das traf aber keineswegs zu. Er hielt seine Vorlesungen und Übungen mit großer Gründlichkeit und Regelmäßigkeit. Er regte an und betreute zahlreiche Dissertationen, davon 77 als Hauptreferent und 42 als Korreferent, und dazu 10 Habilitationen. Von Schlichtings Schülern wirken heute Erich Truckenbrodt als Ordinarius an der TU München, Klaus Gersten als Ordinarius an der Universität Bochum und Arabindo Das, Dietrich Hummel und Fred Thomas an der TU Braunschweig.

Das wissenschaftliche Werk Hermann Schlichtings hat sich in mehr als 100 Artikeln in in- und ausländischen Fachzeitschriften, in Beiträgen zu Handbüchern, in zwei wichtigen und umfangreichen Lehrbüchern und in mehreren ehrenvollen Gedächtnis- und Übersichtsvorträgen niedergeschlagen.

Sein wissenschaftliches Interesse galt in besonderem Maße dem Grenzschichtproblem, wobei auch Temperatureinflüsse Berücksichtigung fanden, und der Entstehung der Turbulenz. Er entwickelte die Theorie der laminaren Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte, eine Theorie, die durch Experimente erst einige Jahre später ihre Bestätigung fand. Für die Flugzeugaerodynamik lieferte er wichtige Beiträge über die gegenseitige Interferenz der Strömungen um Tragflügel, Rumpf und Leitwerk. Als einer der ersten befaßte er sich mit dem Tragflügel bei Überschallgeschwindigkeit. Für die Aerodynamik der Turbomaschinen steuerte er gründliche systematische Untersuchungen in dafür eigens entworfenen Spezial-Windkanälen bei. Leistungersparnis war das Ziel von Untersuchungen über die Umströmung von Kraftfahrzeugen und von theoretischen Rechnungen über den Verbandsflug von Flugzeugen. Diese knappen Andeutungen können nur einen schwachen Eindruck von der Fülle und Vielseitigkeit der wissenschaftlichen Arbeit Hermann Schlichtings geben.

Als Hochschullehrer hat Hermann Schlichting seinem Fachgebiet zwei gründliche und umfangreiche Lehrbücher geschenkt, zuerst 1951 die „Grenzschichttheorie“, hervorgegangen aus einer Vortragsreihe, die er noch während des Krieges für Mitarbeiter der Luftfahrtforschungsanstalt (LFA = DFL) in Braunschweig-Völkenrode gehalten hatte, und 1959/60 – gemeinsam mit Erich Truckenbrodt – die zweibändige „Aerodynamik des Flugzeugs“. Die „Grenzschichttheorie“ hat inzwischen zwölf Auflagen erlebt, davon vier in englischer, 2 in russischer und je eine in spanischer und chinesischer Sprache. Die „Aerodynamik des Flugzeugs“ liegt jetzt in sechs Auflagen vor, davon zwei in chinesischer und je eine in japanischer und englischer Sprache. In diesen knappen Zahlen spiegelt sich die weltweite Wirkung der wissenschaftlichen Arbeit Hermann Schlichtings.

Wie nicht anders zu erwarten war, wurde Hermann Schlichting wiederholt zu Sondervorträgen aufgefordert. So hielt er 1959 in London die 3. Lanchester-Gedächtnis-Vorlesung, 1965 in Braunschweig die Laudatio anläßlich der Verleihung der Gauß-Medaille durch unsere Gesellschaft an Albert Betz, 1966 in Darmstadt die 10. Ludwig-Prandtl-Gedächtnis-Vorlesung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, 1973 in St. Louis/Missouri die 37. Wright-Brothers-Memorial-Lecture und

1975 in Göttingen die Memorial Lecture aus Anlaß des 100. Geburtstages von Ludwig Prandtl vor der Advisory Group of Aeronautical Research and Development (AGARD).

So wie man in Göttingen von einer Prandtlschen Schule in den Jahren 1908 bis 1945 sprechen konnte, kann man in Braunschweig von einer Schlichtingschen Schule in den Jahren 1938 bis 1975 sprechen. In beiden Fällen sind die Schüler mit Recht stolz auf ihre Zugehörigkeit zu diesen Schulen und ihren Lehrern – Ludwig Prandtl und Hermann Schlichting – ein Leben lang dankbar.

Wenn man das Lebenswerk Hermann Schlichtings im Ganzen überblickt, könnte man voll Bewunderung und Staunen ein Zitat von Theodor Fontane wiederholen, das dieser unter ein Bild des Malers Adolf Menzel schrieb:

„Gaben, wer hätte sie nicht? Talente – Spielzeug für Kinder.
Erst der Ernst macht den Mann, erst der Fleiß das Genie.“

Ernst und Fleiß – diese beiden Worte könnte man als Überschrift über Schlichtings Leben setzen.

Die Fachwelt hat Schlichtings Leistungen durch zahlreiche Ehrungen anerkannt. Er war von 1941 bis 1945 korrespondierendes Mitglied der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung, seit 1943 ordentliches Mitglied unserer Gesellschaft, seit 1955 Fellow of the American Institute of Aeronautics and Astronautics, seit 1965 ordentliches Mitglied der International Academy of Astronautics in Paris, seit 1975 Ehrenmitglied der DFVLR. Die National Aeronautical Association in Washington verlieh ihm 1953 die Medaille „50th Anniversary of Powered Flight“, die TU München 1968 die Würde eines Dr.-Ing. ehrenhalber, die DGLR 1969 den Ludwig-Prandtl-Ring und die AGARD 1981 die „Von-Kármán-Medaille“. Der Bundespräsident zeichnete ihn 1972 mit dem Großen Verdienstkreuz der Bundesrepublik Deutschland aus.

Zum Schluß möchte ich einige mehr persönliche Bemerkungen hinzufügen. Meine Bekanntschaft mit Hermann Schlichting dauerte mehr als ein halbes Jahrhundert. Als er 1930 in Göttingen promovierte, war ich schon sechs Jahre in der alten DVL in Berlin-Adlershof tätig. Wir lernten uns näher kennen, als ich – 1935/36 – im Auftrag der DVL eine Aufstellung über die im Deutschen Reich vorhandenen Windkanäle (einschließlich Industrie) machen mußte. Als ich 1936 nach Braunschweig übersiedelte, war zunächst geplant, daß ich den Lehrstuhl für Aerodynamik an der TH und gleichzeitig den Aufbau und die Leitung des entsprechenden DFL-Instituts in Personalunion übernehmen sollte. Es stellte sich aber bald heraus, daß beide Aufgaben für einen Mann zu groß waren, zumal da mir neben der Leitung des DFL-Instituts für Aerodynamik auch noch die Betriebsführung der ganzen neuen Anstalt anvertraut wurde. So kam es 1938 zur Berufung von Hermann Schlichting auf den Lehrstuhl für Aerodynamik an der Carolus-Wilhelmina zu Braunschweig. Von da an arbeiteten wir beide in kollegialer, freundschaftlicher Weise zusammen. Hermann Schlichting wurde freier Mitarbeiter in meinem Institut, und ich begnügte mich als Dozent an der TH mit ergänzenden Vorlesungen über Flugmechanik.

Unsere Zusammenarbeit bewährte sich in hohem Maße bei dem Wiederaufbau der deutschen Luftfahrtforschung nach dem 2. Weltkrieg, wie ich oben bereits ausführte. An vielen Sitzungen, z. B. in der Deutschen Forschungsgemeinschaft und in Ministerien des Bundes und des Landes Niedersachsen, nahmen wir gemeinsam teil. Zu vielen Tagungen fuhren wir gemeinsam mit unseren Frauen – je in einem VW-Käfer und auf der ganzen Fahrt immer in Sichtweite –, z. B. nach Scheveningen, Oslo und Madrid. Dabei ergaben sich viele Gelegenheiten auch zu nichtfachlichem Gedankenaustausch. Unterwegs besichtigten wir in Ruhe und ohne Hetze die am Wege liegenden Sehenswürdigkeiten, z. B. in der Provence und die prähistorischen Höhlenmalereien in Altamira und Lascaux, als diese noch ziemlich frei zugänglich waren. Mehrmals verlebten wir auch unseren Urlaub gemeinsam, z. B. im Solling und am Wörther See. Dabei erwiesen sich Hermann Schlichting und seine Frau als ausdauernde Wanderer und Naturfreunde.

Unsere Beziehungen brachen nicht ab, als Schlichtings ihren Wohnsitz nach Göttingen verlegten. Wir nutzten jede Gelegenheit, uns gegenseitig zu besuchen. In seinem letzten Lebensjahr nahmen Hermann Schlichtings körperliche und geistige Kräfte schnell ab. Es betrückte ihn sehr, daß er nicht mehr wie früher fleißig sein konnte. Als er uns zum letzten Mal in Braunschweig besuchte, sagte er zum Abschied: „Ich kann nicht mehr denken“, für einen Gelehrten gewiß eine sehr traurige Feststellung. Er starb am 15. Juni 1982 in Göttingen und wurde im engsten Familienkreis in heimatlicher Erde in Cuxhaven beigesetzt.

Personalia

Todesfälle

Günther Rehage (4. 4. 1920 – 4. 9. 1984) – Prof. Dr. rer. nat.
ordentliches Mitglied der BWG seit 1982

Günther Cario (3. 8. 1897 – 18. 9. 1984) – Prof. Dr. phil.
ordentliches Mitglied der BWG seit 1943

Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 14. 12. 1984 gewählt
in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

Bohnet, Matthias, Dr.-Ing., o. Professor für Verfahrens- und Kerntechnik, Otto-Hahn-Straße 45,
3300 Braunschweig

- geboren: 20. 7. 1933 in Berlin
- 1954 Abitur, Kepler-Gymnasium Freudenstadt
- 1954–1959 TH Karlsruhe
- 1959–1964 Wiss. Mitarbeiter am Lehrgebiet für Strömungstechnik und Flugzeugbau der TH Karlsruhe
- 1964 Promotion zum Dr.-Ing.
- 1964–1968 BASF Aktiengesellschaft Ludwigshafen, Abteilung Technische Entwicklung
- 1969–1973 BASF Ludwigshafen, Verfahrensentwicklung Petrochemie
- 1973 o. Professor für Verfahrens- und Kerntechnik, Direktor des Instituts für Verfahrenstechnik
- Publikationen: Etwa 70 Veröffentlichungen in verschiedenen Zeitschriften und Handbüchern
- Mitglied: VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC), Stellvertretender Vorsitzender
Deutsche Vereinigung für Chemie- und Verfahrenstechnik (DVCV), Mitglied des Kuratoriums
Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen (DECHEMA), Mitglied des Vorstandes
Störfallkommission beim Bundesminister des Innern
Kuratorium, Senat und Hauptausschuß der Deutschen Forschungsgemeinschaft
- 1984 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Tönshoff, Hans Kurt, Dr.-Ing., o. Professor für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen an der TU Hannover, Bruchholzswiesen 10, 3006 Burgwedel

- geboren: 14. 5. 1934 in Bochum
- 1940–1944 Volksschule Dortmund und Horn
- 1944–1954 Humanistische Gymnasien Detmold und Dortmund
- 1954 Reifeprüfung
- 1954–1960 Technische Hochschule Hannover
- 1960 Diplom-Hauptprüfung Maschinenbau
- 1965 Promotion zum Dr.-Ing.
- 1960–1961 Konstrukteur in den USA
- 1961–1965 Wissenschaftlicher Assistent TH Hannover
- 1965–1970 Konstruktionsleiter, Techn. Leiter im Werkzeugmaschinenbau

- 1970 o. Professor für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen
TU Hannover
- Publikationen: Zahlreiche Veröffentlichungen über spanende und abtragende Fertigungsverfahren, Werkzeugmaschinen und ihre Steuerung, Fertigungsorganisation
- Mitglied: Internationale Gesellschaft für Produktionstechnik CIRP
1980–1984 Wissenschaftsrat
Senat und Hauptausschuß der DFG
- 1984 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

von Zabeltitz, Christian, Dr.-Ing., o. Professor für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft an der TU Hannover, Hellwiesen 3, 3002 Wedemark (Meitze)

- geboren: 7. 8. 1932 in Eichow, Kreis Cottbus
- 1946–1953 Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium Herford
- 1953–1955 Landmaschinenschlosserlehre am Max-Planck-Institut in Bad Kreuznach
- 1955–1961 Maschinenbaustudium TU Braunschweig
Dipl.-Ing.
- 1961–1967 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechn. Grundlagenforschung FAL Braunschweig
- 1967–1972 Abteilungsleiter Vorentwicklung, Gebr. Claas, Harsewinkel
- 1972 o. Professor und Institutsdirektor, Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft TU Hannover
- Publikationen: Gewächshäuser – Planung und Bau, Ulmer Verlag, 1978
Etwa 75 Veröffentlichungen in verschiedenen Zeitschriften und Handbüchern
- Herausgabe: Energieeinsparung und alternative Energiequellen im Gartenbau, Ulmer Verlag, 1982
- Mitautor: Protected Cultivation in Mediterranean Countries, Herausgeber FAO, Rom
- Mitglied: ISHS International Society for Horticultural Sciences
1984 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Thieme, Werner, Dr. jur., o. Professor an der Universität Hamburg, Am Karpfenteich 58, 2000 Hamburg 63

- geboren: 13. 10. 1923 in Celle
- 1930–1934 Volksschulen in Celle und Stargard (Pommern)
- 1934–1942 Gymnasium Ernestinum in Celle
- 1945–1948 Universität Göttingen
- 1948 Erste juristische Staatsprüfung in Celle
- 1952 Große juristische Staatsprüfung in Hannover
- 1951 Promotion zum Dr. jur., Göttingen

- 1955 *Habilitation, Hamburg*
- 1952–1956 *Geschäftsführer des Hochschulverbandes*
- 1955–1956 *Privatdozent, Universität Hamburg*
- 1956–1958 *a.o. Professor, Universität des Saarlandes*
- 1958–1962 *o. Professor, Universität des Saarlandes*
- 1959–1962 *Mitglied des Verfassungsgerichtshofes des Saarlandes*
- 1962 *o. Professor, Universität Hamburg*
- Publikationen:** *Die Rechtsstellung des Ausländers nach dem Bonner Grundgesetz, Diss., jur. Göttingen 1951*
 Deutsches Hochschulrecht, 1956
 Der öffentliche Dienst in der Verfassungsordnung des Grundgesetzes, 1961
 Verwaltungslehre, 1. Aufl. 1967, 4. Aufl. 1984
 Berufungszusagen und Hochschulreform, 1970
 Rundfunkfinanzierung im Bundesstaat, 1977
 Grundprobleme des Hochschulrechts, 1978
 Entscheidungen in der öffentlichen Verwaltung, 1981
 Durchführung und Ergebnisse der kommunalen Gebietsreform, 1981
 Auswirkungen einer Behördenverlegung auf die Sitzgemeinde, 1983
- Herausgabe:** *Handbuch der Verwaltung 2 Bde. (mit U. Becker) 1974 ff.*
 Festschrift für H. P. Ipsen (mit R. Stödter), 1977
 Festschrift für G. Wannagat (mit Gitter u. Zacher), 1981
 Verwaltungslehre – Einführung und Fälle, 2. Aufl. 1984
 Verwaltungswissenschaftliche Abhandlungen, seit 1967
 Schriften zur Verwaltungslehre, seit 1967
- Mitglied:**
- 1975–1978 *Niedersächsische Sachverständigenkommission zur Fortentwicklung des Kommunal-Verfassungsrechts*
 Sozialgesetzbuch-Kommission
- 1984 *Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft*

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 14.12.1984 gewählt

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Gaiser, Konrad, Dr. phil., o. Professor am Seminar für Klassische Philologie der Universität Tübingen

Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Professor im Department of Art History und Direktor des *Index of Jewish Art* an der Hebrew University, Jerusalem
 The Hebrew University, Jerusalem (Israel)

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Hon.-Professor der Universität Mainz und Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil., h. c., Dr.-Ing. h. c., Dr. sc., Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Theor. Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller*, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., Evan-Pugh Res. Prof., Pennsylvania State University, Physics Dept., University Park, Pennsylvania, USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E. h., Professor in Münster (Westf.).
- 1954 *Max Strutt*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor und Direktor des Instituts für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor em. für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., zuletzt o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N. Y.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann*, Dr. sc. nat. habil., o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Kármán* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., LL. D., Professor, California Institute of Technology Pasadena (Calif.).
- 1961 *Kurt Paul Klöppel*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor em. für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe*, Dr. phil., o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor und Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.

- 1965 *Albert Betz* †, Dipl.-Ing., Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. Sc. techn. H. C., o. Professor em. und vormals Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker*, Dr. phil., o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel.
- 1967 *Henry Görtler*, Dr. phil.habil., LL. D. h. c. emer. Professor der Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Albert-Ludwig-Universität Freiburg i.Br., Vizepräsident und vormals Präsident der Internationalen Union für Theoretische und Angewandte Mechanik (IUTAM).
- 1968 *Egon Orowan*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, Tekn. D. Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Höskolan in Stockholm.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr. rer. nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik, Lehrstuhlleiter an dem Polytechnischen Institut Bukarest, Direktor des Instituts de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger*, Dr. rer. techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen, Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsç* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann*, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. h. c., o. Prof., Vorstand des Instituts für Anorganische und Allgemeine Chemie der Techn. Universität Wien.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dipl.-Ing. Prof. Dr. h. c., Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i. R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill*, Lucasian Professor B. A., F. R. S., der Mathematik an der Universität Cambridge/England.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser*, Dr. phil., o. Prof. für Geophysik, Department of Earth and Planetary Sciences, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland 21218/USA.
- 1977 *Helmuth Moritz*, Dr. techn., Dr. h. c., o. Professor, Institut für Erdmessung und Physikalische Geodäsie an der Technischen Hochschule Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Reáltanoda U. 13–15, Budapest V/Ungarn.

- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., o. Prof. für Thermodynamik an der Technischen Universität München, Arcisstraße 2, 8000 München
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr. phil., Prof. (em.) für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Professor, Mitglied des Kollegiums des Max-Planck-Institutes für Biophysikalische Chemie (Leiter der Abteilung „Molekularer Systemaufbau“), Am Faßberg, 3400 Göttingen-Nikolausberg
- 1981 *Martin Kneser*, Dr. rer. nat., o. Prof. der Mathematik an der Universität Göttingen, Guldenhagen 5, 3400 Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Prof. für Klassische Philologie an der Universität Zürich, Wildbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich.
- 1983 *Leopold Müller*, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Honorar-Professor an der Universität Salzburg (Felsbaumechanik), Paracelsusstraße 2, A-5020 Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking*, Dr. rer. nat., o. Prof. u. Dir. des Instituts für Halbleitertechnik der Technischen Universität Aachen, Templergraben 15, 5100 Aachen.

Mitgliederverzeichnis

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 3300 Braunschweig

Telefon: (05 31) 3 91–45 96

Präsident: Prof. Dr. rer. techn. Karl Heinrich Olsen
(bis 31.12.1986)

Generalsekretär: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Joachim Kanold
(bis 31.12.1985)

Geschäftsstelle: Frau Ilsabe Schulte-Lüer (allg. Geschäftsverkehr)
Frau Hannelore Haubold (Haushalt)

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Egon Richter (bis 31.12.1984)

Ordentliche Mitglieder:

- Bartels, Heinz (21.10.1920), Dr. med., Prof. (Vegetative Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover), Meitnerstraße 4, 3000 Hannover 61
- Becker, Gerhard (21.12.1916), Dr. rer. nat., Dr.-Ing. h.c., Ltd. Dir. u. Prof. i.R. (Physik, PTB Braunschweig), Dießelhorststraße 32, 3300 Braunschweig
- Bogen, Hans Joachim (19.11.1912), Dr. rer. nat., Prof. em. (Botanik, TU Braunschweig), Wendentorwall 15B, 3300 Braunschweig
- Brehler, Bruno (25.12.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Kristallographie, TU Clausthal), Am Turmhof 6, 3393 Clausthal-Zellerfeld
- Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Hermann-Rein-Straße 3, 3400 Göttingen
- Dieminger, Walter (7.7.1907), Dr. rer. nat., Prof. (Aeronomie, MPI für Aeronomie Lindau), Berliner Straße 14, 3412 Nörten-Hardenberg 1
- Grützmaker, Martin (10.11.1901), Dr. phil. habil., Ltd. Dir. a.D. und Honorar-Prof. (Akustik, PTB Braunschweig), Sulzbacher Straße 36, 3300 Braunschweig
- Gundermann, Karl-Dietrich (20.2.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Organ. Chemie, TU Clausthal), Birckenbachstraße 2, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Hartmann, Hellmut (20.2.1895), Dr.-Ing., Prof. em. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Stadeweg 1, 3300 Braunschweig
- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 3300 Braunschweig

- Haul, Robert (31.5.1912), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Schellingstraße 5, 3000 Hannover 61
- Henze, Ernst (17.8.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Wichernstraße 39, 3340 Wolfenbüttel
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenstraße 10, 3410 Northeim-Hillerse
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr. phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), An der Paulikirche 5, 3300 Braunschweig
- Inhoffen, Hans Herloff (19.3.1906), Dr. phil., Dr. med. h.c., Prof. em. (Organische Chemie, TU Braunschweig), August-Lämmle-Weg 4, 7250 Leonberg
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr. rer. nat. habil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Güldenstraße 41, 3300 Braunschweig
- Kersten, Martin (28.4.1906), Dr.-Ing., Honorar-Prof. u. Präs. i.R. (Physik, PTB Braunschweig), Am Hohen Tore 4 A, 3300 Braunschweig
- Kertz, Walter (29.2.1924), Dr. rer. nat., Prof. (Geophysik und Meteorologie, TU Braunschweig), Pestalozzistraße 2, 3300 Braunschweig
- Keßler, Franz Rudolf (11.8.1927), Dr. phil., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Am Walde 42, 3300 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 3340 Wolfenbüttel
- Kroepelin, Hans (28.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Chemische Technologie, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 12, 3300 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr. rer. nat., Prof. (Biophysikalische Chemie, Med. Hochschule Hannover), Im Eichholz 27, 3000 Hannover 51
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Müller, Hans Robert (26.10.1911), Dr. phil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 49, 3340 Wolfenbüttel
- Pilger, Andreas (19.12.1910), Dr. phil. habil., Prof. em. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 125, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Poser, Hans (13.3.1907), Dr. phil., Prof. em. (Geographie, Universität Göttingen), Ernst-Curtius-Weg 5, 3400 Göttingen
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 3300 Braunschweig
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Universität Hannover), Im Dorffeld 43, 3005 Hemmingen
- Rohdenburg, Heinrich (27.1.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Physische Geographie und Landschaftsökologie, TU Braunschweig), Brockenblick 8, 3302 Cremlingen-Destedt
- Rosenbach, Otto (25.9.1914), Dr.-Ing., Prof. em. (Geophysik, TU Clausthal), Hopfengarten 40, 3388 Bad Harzburg 1
- Schottlaender, Stefan (15.1.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückauf-Weg 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld

- Schumann, Hilmar (8.11.1902), Dr. phil. habil., Prof. em. (Mineralogie, TU Braunschweig), Eitelbrodstraße 3 a, 3300 Braunschweig
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 3300 Braunschweig
- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Experimental-Physik, Universität Hannover), Hahnensteg 41 C, 3000 Hannover 91
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr. phil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Rödinger Straße 31, 3008 Garbsen
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr. rer. nat., Dr. techn. h.c., Prof. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Antoinettenweg 9, 3340 Wolfenbüttel
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 3004 Isernhagen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 3004 Isernhagen 2
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr. phil., Prof. (Pharm. Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Becker, Wilhelm, Dr. phil., Dr. h.c. mult., Prof. (Astronomie), Venusstraße 7, CH-4102 Binningen ü. Basel/Schweiz
- Cailleux, André-Paul, Dr. h.c., Prof. (Geologie u. Phys. Geographie), 9. Avenue de la Trémouille, 94100 Saint-Maur-des-Fosses/Frankreich
- Elsasser, Walter M., Dr. phil., Prof. (Physik), Department of Earth and Planetary Sciences, The Hopkins University Baltimore, Maryland 21218/USA
- Engelhardt, Wolf, Freiherr von, Dr. phil., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie), Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen 1
- Gutmann, Viktor, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. h.c. (Budapest), Dr. h.c. (Torun), Prof. (Chemie), Getreidemarkt 9, A-1060 Wien/Österreich, techn. Hochschule Wien, Institut für Anorganische Chemie
- Kaluza, Theodor, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik), Nötelweg 4, 3000 Hannover 91
- Kippenhahn, Rudolf, Dr. rer. nat., Dir. u. Prof. (Astrophysik), Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Institut für Astrophysik, Forschungsgelände, 8046 Garching
- Kneser, Martin, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik), Guldenhagen 5, 3400 Göttingen
- Köthe, Gottfried, Dr. phil., Dr. h.c. mult., Prof. em. (Mathematik), Parkstraße 14, 6000 Frankfurt 1
- Kreutzkamp, Norbert, Dr. phil., Prof. (Pharm. Chemie), Laufgraben 28, 2000 Hamburg 13, Universität Hamburg
- Kuhn, Hans, Dr. phil., Prof. (Biophysikalische Chemie), Max-Planck-Institut für biophys. Chemie Göttingen, Zur Akelei 21, 3400 Göttingen-Nikolausberg
- Lochte-Holtgreven, Walter, Dr. phil. habil., Prof. (Physik), Olshausenstraße 40–60, 2300 Kiel, Neue Universität

- Mensching, Horst, Dr. rer. nat., Prof. (Geographie), Bundesstraße 55, 2000 Hamburg 13, Institut für Geographie der Universität Hamburg
- Schaller, Friedrich, Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie), Dr.-Karl-Lueger-Ring 1A, A-1010 Wien/Österreich
- Schmitz, Rudolf, Dr. phil., Prof. (Geschichte und Pharmazie), Philipps-Universität, Fhr.-vom-Stein-Straße 2, 6349 Mittenaar-Bicken
- Schumacher, Hans J., Dr. phil., Dr. h. c., Prof. (Phys. Chemie), Universidad Nacional de la Plata, Instituto de Investigaciones Fisicoquimicas, Sucursal 4 – Cas. de Corres 16 – La Plata/Argentinien
- Tóth, László Fejes, Dr., Prof. (Mathematik), Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences Realtanoda U. 13–15, Budapest V., Ungarn
- Unsöld, Albrecht, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. rer. nat., D. Sc. h. c. (Theoretische Physik u. Astronomie), Olshausenstraße, 2300 Kiel, Neue Universität, Haus 13
- Voronkov, Michael Gregor, Dr. rer. nat., Dr. h. c., Dir. u. Prof. (Chemie), 1 Favorsky Street, 664033 Irkutsk/UdSSR, Siberian Division of the Academy of Sciences of the USSR, Inst. of Organic Chemistry

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jeschar (bis 31. 12. 1987)

Ordentliche Mitglieder:

- Baehr, Hans Dieter (24.6.1928), Dr.-Ing., Prof. (Thermodynamik, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 54, 3000 Hannover
- Bammert, Karl (13.2.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Strömungsmechanik, Universität Hannover), Alleestraße 3, 3000 Hannover 1
- Batel, Wilhelm (3.11.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 3300 Braunschweig
- Blenk, Hermann (9.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Flugmechanik, TU Braunschweig), Margaretenhöhe 32, 3300 Braunschweig
- Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., o. Prof. u. Dir. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 3300 Braunschweig
- Dizioğlu, Bekir (13.12.1920), Dr.-Ing., Prof. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), Marienburgweg 36, 3340 Wolfenbüttel
- Erdmann-Jesnitzer, Friedrich (3.5.1912), Dr.-Ing. habil, Dr. ir. h. c., Prof. em. (Werkstoffkunde, Universität Hannover), Im Dorffeld 66, 3005 Hemmingen 1
- Funke, Paul (5.2.1930), Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Schulstraße 15, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Groth, Klaus (8.12.1923), Dr.-Ing., Prof. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Holzwiesen 4, 3005 Hemmingen-Westerfeld
- Hennicke, Hans Walter (22.1.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Keramik und Email, TU Clausthal), Am Turmhof 9, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Energieanlagentechnik, TU Clausthal), Agricolastraße 4, 3392 Clausthal-Zellerfeld

- Justi, Eduard (30.5.1904), Dr. phil. habil., Prof. (Technische Physik, TU Braunschweig), Am Rübenberg 8, 3300 Braunschweig
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Honorar-Prof. u. Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (Hochspannungstechnik), Knappstraße 4, 3300 Braunschweig
- Koeßler, Paul (19.6.1896), Dr.-Ing., Prof. em. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Bauhofstraße 38, 8221 Inzell
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr. rer. nat., Prof. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 3340 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 32, 3340 Wolfenbüttel
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Eißendorfer Winkel 9, 2100 Hamburg 90
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Prof. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 3300 Braunschweig
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Alter Rautheimer Weg 38, 3300 Braunschweig
- Musmann, Hans Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 3320 Salzgitter-Bad
- Pahlitzsch, Gotthold (19.4.1903), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Prof. (Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 15, 3300 Braunschweig
- Pestel, Eduard (29.5.1914), Dr.-Ing., D. Eng. h. c., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 10, 3000 Hannover
- Rögner, Heinz (20.9.1913), Dr. phil., Prof. em. (Thermodynamik, Universität Hannover), Callinstraße 36, 3000 Hannover
- Ruge, Jürgen (14.5.1921), Dr.-Ing., Prof. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 18, 3300 Braunschweig
- Rummel, Theodor (30.5.1910), Dr.-Ing. habil., Prof. (Elektrowärme, Universität Hannover), Leerbichl-Allee 20, 8022 Grünwald
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Liegnitzer Straße 22, 3340 Wolfenbüttel
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 3000 Hannover 21
- Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., o. Prof. u. Dir. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Technische Universität Hannover), Bruchholzwiesen 10, 3006 Burgwedel 1
- Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 3300 Braunschweig
- Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 3300 Braunschweig
- von Zabeltitz, Christian (7.8.1932), Dr.-Ing., o. Prof. u. Dir. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 3302 Wedemark (Meitze)

Korrespondierende Mitglieder:

- Bosnjaković, Fran, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c., Prof. em. (Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt), Ungelterweg 17 D, 7000 Stuttgart 1
- Bosch, Firmin-Maurits, Dr. ir., Prof. u. Dir. (Chemie), Laboratorium voor Anorg. Techn. Chemie, Zwijnaarde/Belgien, Ketelpoort 5, B-9000 Gent/Belgien
- Busemann, Adolf, Dr.-Ing., Dr. rer. nat. E.h., Prof. em. (Aerodynamik), 970 Lincoln Place, Boulder/Colorado 80302/USA
- Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Thermo- u. Fluidodynamik), Buscheystraße 1C, 4630 Bochum-Querenburg, Ruhr-Universität
- Görtler, Henry, Dr. phil. habil., LL. D. h.c., Prof. em. (Angewandte Mathematik), Sonnhalde 90, 7800 Freiburg
- Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Prof. (Maschinenbau), Präsident der Technischen Universität München, Arcisstraße 2, 8000 München 2, TU
- Hausen, Helmuth, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Thermodynamik u. Verfahrenstechnik), Wohnstift Augustinum Taunus, Appt. 443, Sodener Waldweg 2, 6232 Bad Soden II
- Illies, Kurt, Dr.-Ing., Prof. em. (Schiffsmaschinen), Babendiekstraße 20, 2000 Hamburg 55
- Kröner, Ekkehart, Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57 VI, 7000 Stuttgart 80
- Krüger, Gerhard, Dr.-Ing., Prof. (Wirtschaftswissenschaften), Südl. Hildapromenade 9, 7500 Karlsruhe 1
- Lighthill, F.R.S., Sir Michael James, Lucasian Prof. (Mathematik), Universität Cambridge/England
- Mayinger, Franz (2.9.1931), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik), Lehrstuhl A für Thermodynamik der TU München, Arcisstraße 21, 8000 München 2
- Schlitt, Herbert, Dr. phil. nat., Prof. (Regelungstechnik), Egerlandstraße 5, 8520 Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg
- Strutt, M.J.O., Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Höhere Elektrotechnik), Krähbühlstraße 79, CH-8044 Zürich/Schweiz
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Strömungsmechanik), Arcisstraße 21, 8000 München 2, TU
- Wassermann, Günter (19.9.1902), Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Metallkunde u. Metallphysik, TU Clausthal), Am Silbersegen 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Wincierz, Peter, Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Metallkunde), TU Clausthal, Hohenwaldstraße 29, 6374 Steinbach/Taunus

Klasse für Bauwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Justus Herrenberger (bis 31.12.1986)

Ordentliche Mitglieder:

- Billib, Herbert (21.10.1904), Dr.-Ing., Dr. nat. techn. h.c., Prof. em. (Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftl. Wasserbau, Universität Hannover), Franzensbaderhof 9, 3000 Hannover 71
- Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr. phil. nat. habil., Prof. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 3, 3000 Hannover 51
- Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 3300 Braunschweig
- Esslinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., Prof. (Statik), Bussardweg 2, 3300 Braunschweig
- Garbrecht, Günther (10.1.1925), Dr.-Ing., Dr. sc. h.c., Prof. (Wasserbau, Wasserwirtschaft u. Kulturtechnik, TU Braunschweig), 3171 Diddlese, Nordstraße 17
- Gerke, Karl (10.8.1904), Dr.-Ing., Prof. em. (Geodäsie, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 19, 3300 Braunschweig
- Grabe, Walter (24.10.1921), Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Universität Hannover) u. Dir. (Öffentl. Personennahverkehr), Hamburger Verkehrsverbund, Altstädter Straße 6, 2000 Hamburg 1
- Habekost, Heinrich (21.2.1911), Dipl.-Ing., Prof. em. (Städtebau, Straßenbau, Tiefbau, TU Braunschweig), Im Gettelhagen 7, 3300 Braunschweig
- Hake, Günter (27.5.1922), Dr.-Ing., Prof. (Topographie u. Kartographie, Universität Hannover), Börie 58, 3005 Hemmingen 1
- Henn, Walter (20.12.1912), Dr.-Ing., Dr. techn. h.c., Prof. em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Petritorwall 20, 3300 Braunschweig
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof. (Baukonstruktion, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 3300 Braunschweig
- Hoeltje, Georg (16.3.1906), Dr. phil., Prof. em. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 11 c, 3000 Hannover 21
- Höpcke, Walter (19.8.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Allgemeine Vermessungskunde, Universität Hannover), Gerdingstraße 2 A, 3000 Hannover 72
- Hofmann, Wilhelm (6.7.1910), Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Franziusweg 23 A, 3000 Hannover
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Photogrammetrie u. Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 3000 Hannover 73
- Kordina, Karl (7.8.1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 3300 Braunschweig
- Kracke, Rolf (11.5.1932), Dr.-Ing., Prof. (Verkehrs- und Eisenbahnwesen, Universität Hannover), Franziusweg 13, 3000 Hannover 1
- Lehmann, Gerhard (25.10.1907), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Photogrammetrie, Geodäsie, Universität Hannover), Eilenriedestift Appt. 314, Bevenser Weg 10, 3000 Hannover 61

- Mecke, Wilhelm (12.8.1907), Dr.-Ing., Prof. em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburg-Ring 13, 3410 Northeim 1
- Möller, Dietrich (18.12.1927), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 3306 Lehre
- Partensky, Hans-Werner (3.4.1926), Dr.-Ing., Dr. phys., Prof. (Verkehrswasserbau u. Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wichbergstraße 20, 3000 Hannover 81
- Pflüger, Alf (17.7.1912), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik, Universität Hannover), Bonatzweg 7, 3000 Hannover 71
- Pieper, Klaus (27.5.1913), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Statik, TU Braunschweig), Ginsterweg 13, 3300 Braunschweig
- Pierick, Klaus (19.2.1928), Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen u. Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 3300 Braunschweig
- Renard, Walter (12.5.1904), Dipl.-Ing., Prof. em. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Westermannweg 20, 3000 Hannover-Herrenhausen
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4.5.1932), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 3300 Braunschweig
- Scheer, Joachim (5.3.1927), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 3000 Hannover 73
- Spengelin, Friedrich (29.3.1925), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorst 12, 3000 Hannover
- Stein, Erwin (5.7.1931), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 3004 Isernhagen 2 (NB)
- Torge, Wolfgang (4.6.1931), Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover), Mönchekamp 4A, 3000 Hannover 91
- Wierig, Hans-Joachim (22.6.1927), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde, Universität Hannover), Hindenburgallee 31, 3007 Gehrden
- Wortmann, Wilhelm (15.3.1897), Dipl.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stadt- und Regionalplanung, Universität Hannover), Morgensternweg 10, 3000 Hannover 21

Korrespondierende Mitglieder:

- Bjerhammer, Arne, Tekn. Dr.-Ing., Prof. (Geodäsie), Kungl. Tekniska Högskolan, Royal Institute of Technology, Fack 10044, Stockholm 70/Schweden
- Kistenmacher, Hans, Dr. rer. pol., Prof. (Landesplanung und Raumforschung), Universität Kaiserslautern, Pfaffenbergstraße 95, 6750 Kaiserslautern
- Kraemer, Friedrich-Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Architektur), Am Römerturm 3, 5000 Köln 1
- Klöppel, Kurt, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik und Stahlbau), Technische Hochschule Darmstadt, Alexanderstraße 7, 6100 Darmstadt
- Moritz, Helmut, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Erdmessung und physikalische Geodäsie), Technische Universität Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Granz/Österreich

- Müller, Leopold, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Prof. (Felsmechanik), Universität Karlsruhe, Paracelsusstraße 2, A-5020 Salzburg/Österreich
- Triebel, Wolfgang, Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Bauforschung), Max-Eyth-Straße 48, 3000 Hannover
- Wolf, Helmut, Dr.-Ing., Dr. sc. techn. h.c., Dr. phil. h.c., Dr. h.c., Prof. (Geodäsie), Am Sonnenhang 10, 5300 Bonn-Ippendorf
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Konstruktiver Ingenieurbau), Ruhr-Universität Bochum, Buscheystraße IC 4/54, 4630 Bochum-Querenburg

Klasse für Geisteswissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch (bis 31.12.1985)

Ordentliche Mitglieder:

- Beuermann, Arnold (13.1.1924), Dr. phil., Prof. (Geographie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 15, 3300 Braunschweig
- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr. phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Theaterwall 18, 3300 Braunschweig
- Ehlers, Joachim (31.5.1936), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Halberstadtstraße 82, 3300 Braunschweig
- Gosebruch, Martin (20.6.1919), Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, TU Braunschweig), Gieselerwall 4, 3300 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr. phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Hermann-Korb-Straße 66, 3340 Wolfenbüttel
- Kamp, Norbert (24.8.1927), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte; Präsident der Universität Göttingen), Leipziger Straße 236B, 3300 Braunschweig
- Killy Walther (26.8.1917), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaften, Ernst-August-Bibliothek Wolfenbüttel), Adenauerweg 13, 3340 Wolfenbüttel-Ahlum
- König, Joseph (24.9.1915), Dr. phil., Archivdirektor a.D. (Geschichte), Paracelsusstraße 24, 3340 Wolfenbüttel
- Lohse, Eduard (19.2.1924), D. theol., Honorar-Prof. (Göttingen), Landesbischof (Theologie), Haarstraße 6, 3000 Hannover 1
- Maurach, Gregor (3.3.1932), Dr. phil., Prof. (Lateinische Philologie, TU Braunschweig), Geysstraße 7, 3300 Braunschweig
- Mohr, Hans-Heinrich (1.6.1917), Dr. rer. pol. (Versicherungswissenschaften), Am Bürgerpark 4a, 3300 Braunschweig
- Niquet, Franz (7.6.1910), Dr. phil., Oberarchäologe i.R. (Deutsche Archäologie), Am Roten Amte 13, 3340 Wolfenbüttel
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie u. Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 2081 Ellerbek
- Olsen, Karl Heinrich (20.12.1908), Dr. rer. techn. habil., apl. Prof. entpfl., Ltd. Dir. i.R. (Agrarpolitik, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Wirtschaftsgeographie), Saarstraße 3, 3300 Braunschweig

- Pöls, Werner (15.3.1926), Dr. phil., Prof. (Geschichte, TU Braunschweig), Herzogin-Elisabeth-Straße 6, 3300 Braunschweig
- Reuther, Hans (21.11.1920), Dr.-Ing., Dr. phil., Prof. (Architekturgeschichte, TU Berlin), Am Schäferhof 22, 3510 Hann. Münden 1
- Rosen, Edgar R. (18.6.1911), Dr. phil., Prof. em. (Politikwissenschaft, TU Braunschweig), Jasperallee 7, 3300 Braunschweig
- Schillemeit, Jost (18.2.1931), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaft, TU Braunschweig), Friedensallee 48, 3300 Braunschweig
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr. jur., o. Prof. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Am Karpfenteich 58, 2000 Hamburg 63
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr. oec., Prof. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Hirschbergstraße 16, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Burkert, Walter, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie), Universität Zürich, Wildsbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich (Schweiz)
- Dörig, José, Dr. phil., Prof. (Archäologie, Universität Genf), 12, chemin des Manons, CH-1218 Grand Saconnex, Genf/Schweiz
- Elbern, Victor H., Dr. phil., Honorar-Prof., Freie Univ. Berlin (Kunstgeschichte), Ilsensteinweg 42, 1000 Berlin 38
- Gaiser, Konrad, Dr. phil., o. Prof. (Klassische Philologie, Universität Tübingen), Leimgrube 3, 7401 Nehren
- Garrigues, Marie-Odile, Dr. phil., Prof. (Philosophie und Theologie), Via S. Damaso 49, J-00165 Rom/Italien
- Goetting, Hans, Dr. phil., Prof. em. (Historische Hilfswissenschaften, Universität Göttingen), Waitzweg 7, 3400 Göttingen
- Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Prof. (Department of Art History u. Dir. des Index of Jewish Art, Hebrew University Jerusalem), The Hebrew University, Jerusalem Israel
- Raupach, Hans, Dr. jur. habil., Prof. em. (Soziologie), Groffstr. 20, 8000 München 19
- Rosen, Stanley, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Pennsylvania State University, 1256 South Garner Street, State College, Pennsylvania 16801/USA
- Salvini, Roberto, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte), Universität Florenz, Via de Coverelli 2–4, J-50125 Florenz/Italien
- Schnath, Georg, Dr. phil., Prof. em. (Nieders. Landesgeschichte), Wiesenstraße 16, 3000 Hannover
- Tsujimura, Koichi, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Kaiserliche Universität Kyoto, Sakyoku, Kamitakano, Higashida-cho 12, J-606 Kyoto/Japan
- Voppel, Götz, Dr. rer. pol., Dipl.-Volkswirt (Wirtschafts- und Sozialgeographie), Wirtschafts- und Sozialgeographisches Institut der Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41
- Zeitler, Rudolf, Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte), Universität Uppsala, Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden

